Revue générale des Sciences

pures et appliquées

et Bulletin de l'Association Française

pour l'Avancement des Sciences

TOME LXII Juillet-Août 1955 N°s 7-8

CHRONIQUE ET CORRESPONDANCE

XXIII[e] RÉUNION DE L'ASSOCIATION DES PHYSIOLOGISTES DE LANGUE FRANÇAISE

En avance sur les années précédentes, la réunion annuelle de l'Association des Physiologistes de Langue Française s'est tenue cette année en Belgique, dans la ville de Gand, du 27 au 30 avril. Le professeur Van de Velde, de la Faculté de Médecine de Gand, vice-président de l'Association pour l'année 1955, a reçu selon la coutume le président en exercice en la personne du Doyen Combemale et les membres de l'Association. Le programme de travail a suivi la méthode habituelle de ces réunions: présentation et discussion d'exposés scientifiques dont les rapporteurs avaient été préalablement désignés l'année précédente ; lecture suivie de la discussion des communications ; réalisations de démonstrations techniques dans les différents laboratoires de la Faculté de Médecine. Enfin, l'assemblée générale fixant l'attitude des physiologistes, membres de l'Association, devant certains points de vue.

M. J. Benoît (Paris) a exposé son rapport sur le contrôle hypothalamique de l'activité préhypophysaire. Le texte de ce mémoire fait avec la collaboration de J. Assenmacher, n'avait pas été imprimé au préalable mais paraîtra prochainement. Ce travail très complet après une présentation morphologique et histo-physiologique des régions considérées, décrit l'étude expérimentale et expose en conclusion les théories des différents modes de régulation hypothalamo-hypophysaire.

Le lendemain matin, M. A. Niset (Liége) présentait un deuxième rapport sur l'Erythropoïèse et le métabolisme protéique dont le texte venait d'être publié dans le numéro un du tome 47 du « Journal de Physiologie ». Cette étude considérée du point de vue biochimique envisage l'influence de l'apport alimentaire puis les échanges protéiques spécifiques dans l'organisme, enfin la synthèse dans les érythrocytes jeunes. L'abondance bibliographique constitue une documentation complète de la mise au point du problème.

Ces conférences ont été faites dans la rotonde de l'Université de Gand ; la première sous la présidence du Doyen Combemale de la Faculté de Médecine de Lille, la deuxième sous la présidence du professeur Boulanger. Dans cette même salle, Mlles Beauvallet et Veil (Paris) ont projeté deux superbes films en couleurs destinés à l'enseignement et donnant des notions élémentaires de physiologie classique sur le cœur et la pression artérielle. Un très court métrage en noir a ensuite été présenté par M. Stampfli (Homburg) sur une méthode originale de détermination du potentiel de membrane.

Les différentes communications et démonstrations ont duré quatre demi-journées et ont eu lieu à l'Institut de Physiologie et à l'Institut de Pharmacologie. Elles étaient groupées par affinités de spécialisations : physiologie respiratoire, électrophysiologie, endrocrinologie, chimie et physique biologique. Tous ces travaux avaient été publiés auparavant dans le même ouvrage que les rapports.

L'assemblée générale a été amenée à choisir la date de la prochaine réunion, qui se tiendra à Paris, vraisemblablement peu avant le Congrès international de Physiologie, fixé à Bruxelles pour 1956.

Le professeur Van de Velde a été nommé président pour l'année 1955-1956. M. Cordier, professeur à la Faculté des Sciences de Lyon, a été maintenu dans ses fonctions de secrétaire général, ainsi que Mlle Veil, chef de travaux à la Faculté des Sciences de Paris, comme trésorière. Les secrétaires pour la Belgique, la Suisse et la Tchécoslovaquie sont toujours respectivement : MM. les professeurs M. Dallemagne, M. Doliveau et V. Kruta.

R.-A. Griffié.

SIMPLICITÉ ET COMPLEXITÉ

Des remarques d'Einstein ont inspiré les pages qui suivent dont l'auteur donnait à la revue en mars 1923 *un article aux mêmes tendances. Le système qu'il a construit a été détaillé dans son livre récent :* La théorie harmonique. Le principe de simplicité dans les Sciences mathématiques et dans les Sciences physiques (1). *Toutefois, certains exemples, tel le mouvement turbulent, ne pourraient-ils suggérer des clauses limitant objectivement l'appel à des concepts rythmiques ? L'auteur, à la correction des épreuves, a bien voulu nous écrire à ce sujet* (*voir page* 201).

La Rédaction.

La simplicité et son rôle dans l'harmonie de l'univers

Nombreux sont les savants et les philosophes de tous les temps qui ont invoqué la simplicité comme guide, voire comme axiome de départ. Il n'y aurait pas d'unité, pas d'ordre ni d'harmonie dans l'univers, s'il n'existait une certaine simplicité dans les rapports entre ses éléments constitutifs. Et il n'y aurait aucune connaissance rationnelle possible, il n'y aurait pour l'homme aucune possibilité de percevoir cette unité, cet ordre, cette harmonie, s'il n'existait une certaine simplicité dans les rapports entre sa structure psycho-physiologique et la structure du monde extérieur.

La remarque liminaire qui s'impose à ce sujet, c'est que, s'exerçant dans les rapports, la simplicité en question est forcément *relative.* Il reste à *définir la simplicité.* Il n'y a peut-être pas, dans le langage humain, de notion qui ait été aussi souvent invoquée, et dont on ait, en même temps, négligé davantage d'approfondir le sens et de préciser la définition. Or cette dernière ne peut résulter que : 1°) de la mise en opposition précise de la notion de simplicité avec la ou les notions contraires ; 2°) de l'établissement d'une graduation aussi régulière que possible entre les deux termes de l'antinomie ou des antinomies ainsi mises en évidence.

Mais est-il admissible d'invoquer au pluriel, pour un même concept, ses contraires, ses antinomies ? Voici comment, à la réflexion, cela devient assez naturel. La complexité de certains phénomènes, se répercutant sur les théories pouvant s'y adapter, élimine les conceptions trop sommaires de la simplicité, dont l'idée se précise peu à peu, après maints tâtonnements. On pourrait dire qu'elle se détermine comme par l'action d'un crible,

(1) Gauthier-Villars, éditeurs.

certes différent du crible par lequel Eratosthène avait mené à bien le triage des nombres premiers. Car celui-ci fonctionne d'une manière toujours quantitative ; alors que, pour extraire la simplicité de la gangue qui l'emprisonne, il faut user à la fois de la quantité et de la qualité. Cela posé, au moment de définir la simplicité, il faudra le faire tour à tour sous l'angle *quantitatif* et sous l'angle *qualitatif* ; et les contrastes à retenir devront concerner successivement ces deux aspects. En fin de compte, la simplicité s'offrira comme le terme commun aux ensembles qui subsistent quand on a rayé, d'une part tout ce qui est complexe quantativement, d'autre part tout ce qui l'est qualitativement. Au total, dans l'ordre quantitatif, le simple s'oppose au *composé,* qui correspond à la *multiplicité dans l'homogène* ; dans l'ordre qualitatif, le simple s'oppose au *complexe,* qui correspond à la *multiplicité dans l'hétérogène.* Ainsi se révèle, dès la base, l'existence de *deux étages de simplicité,* chacun de ces deux étages principaux se décomposant, logiquement et pratiquement, en *degrés de simplicité,* plus ou moins faciles d'ailleurs à mesurer ou à repérer.

A l'origine du développement mental de l'être humain, la simplicité relative s'offre à lui sous la forme *qualitative* : c'est elle qui lui permet d'opérer un premier classement *analogique* entre les objets ou les attributs hétérogènes du monde sensible. Dans le domaine de l'action, le sens instinctif de la simplicité se manifestait aussi, de façon qualitative, par l'invention d'outils très simples et par l'exécution d'œuvres d'art stylisées : l'homme primitif fut avant tout artisan et artiste.

Longtemps encore après que l'*homo faber* aura évolué vers l'*homo sapiens,* celui-ci continuera à percevoir sous des formes surtout qualitatives la simplicité relative des rapports entre les éléments de l'univers, ou entre les concepts abstraits auxquels il s'efforce de ramener ces éléments. Cette tendance première de l'esprit humain a culminé avec Aristote et la scolastique. Or cet aspect qualitatif des rapports perçus ou conçus n'était, dans une large mesure, que la projection sur le monde sensible de la structure de l'être humain lui-même. C'est la remarque que Pascal a énoncée en ces termes : « Nous *teignons* des *qualités* de notre être *composé* toutes les choses *simples* que nous contemplons. »

Pour *dé-teindre* ses perceptions et ses pensées les plus précises, l'homme a construit et utilisé un admirable instrument, dont le pouvoir *détersif* n'a cessé de croître : la Mathématique. Le monde physico-chimique offrait au génie humain un magnifique champ d'investigation et de réalisation, où la simplicité quantitative des conceptions abstraites « déteignait » progressivement la simplicité qualitative qui avait présidé au premier classement analogique des sensations. La croyance à cette réductibilité de la simplicité qualitative à la simplicité quantitative

avait été depuis longtemps professée par Pythagore : « les choses sont nombres... les nombres gouvernent le monde ». L'évolution des sciences physico-chimiques a fait de cette vision intuitive une éclatante réalité, que de nos jours Einstein pouvait condenser en cet aphorisme si purement pythagoricien : « *L'idée de la simplicité mathématique est réalisée dans la nature.* »

Indiquons brièvement sous quelle forme nous proposons de l'expliciter.

La théorie harmonique

Construite sur ces données fondamentales, guidée par l'évolution récente des sciences mathématiques et des sciences physiques, *la théorie harmonique* énonce ce qui suit : 1°) Le déterminisme universel qui régit le monde physico-chimique obéit à *une condition générale de simplicité relative maximum.* 2°) Cette condition est d'ordre *différentiel* : elle s'applique *de proche en proche* dans l'espace et dans le temps. 3°) Cette simplicité différentielle (ou élémentaire) est d'ordre *métrique,* et même, à la base, d'ordre *numérique.* 4°) Cette simplicité métrique élémentaire, de caractère abstrait, a dans notre univers *deux supports* d'ordre concret : l'*espace* et le *temps.* 5°) Appliqués aux combinaisons de l'espace et du temps, le Nombre et ses lois opératoires (égalité, additivité) engendrent le *Rythme,* constituant physique primordial de l'énergie et de la matière. Ce rythme spatiotemporel est caractérisé par sa *périodicité* essentielle et par les lois de simplicité maximum qui le régissent : *synchronisation, résonance.*

6°) La *complémentarité* de l'espace et du temps se retrouve, à toutes les échelles de composition du rythme élémentaire, dans une *dualité* du processus rythmique, tour à tour *extensif et intensif,* qui régit le dynamisme profond de l'univers. 7°) La physique classique retrouvait cette complémentarité originelle de l'espace et du temps dans la dualité des caractéristiques extensives et intensives des différentes formes de l'*énergie* ; la physique moderne la retrouve dans la complémentarité *onde-corpuscule* de la Mécanique ondulatoire. 8°) La périodicité inhérente au caractère rythmique de l'activité universelle a pour effet de faire *émerger* le principe de simplicité à différents niveaux de composition normalisés du rythme élémentaire. A chacun de ces *niveaux harmoniques* successifs, où se structurent et se stabilisent par résonance les systèmes ordonnés de plus en plus denses du monde physico-chimique (corpuscules, atomes, molécules), puis les systèmes organisés de plus en plus complexes du monde vivant, le principe de simplicité émerge, pour l'observateur humain, sous des formes d'abord métriques, puis métrico-fonctionnelles ou structurales, fonctionnelles, enfin qualitatives. Le cycle se referme ainsi entre la simplicité quantitative et la simplicité qualitative.

9°) Dans l'ordre *conceptuel,* la complémentarité se manifeste par le jeu alterné, dans le mécanisme psychique de l'esprit humain, de deux opérations fondamentales : l'*assimilation-extension* (dont la forme quantitative la plus simple est l'*égalité,* et la forme qualitative-limite l'*identité*) ; la *composition-coordination,* dont l'absence dans la logique classique d'Aristote constitue la lacune grave de cette logique et la cause principale de son insuffisance constructive (la forme la plus simple en est l'*additivité* dans le domaine quantitatif, l'*ordre* dans le domaine topologique et qualitatif). 10°) Sur la base du jeu alterné de ces deux opérations psychiques peut être édifiée une Logique de la Simplicité susceptible de remplacer ou de compléter la Logique simpliste de l'Identité. 11°) Nous avons fait une première application de cette Logique de la Simplicité à la Mathématique, en montrant que celle-ci *peut* être logiquement reconstruite suivant une *Axiomatique harmonique,* qui ne fait intervenir que la condition de simplicité relative maximum jouant de proche en proche dans l'ordre conceptuel, suivant un processus dualiste mettant alternativement en jeu les opérations psychiques d'*assimilation-extension* et de *composition-coordination.*

12°) Pour jeter un pont entre la simplicité *qualitative* de la connaissance sensible et la simplicité *métrique* qui régit, de proche en proche, les activités élémentaires du monde physique, la Science a été obligée de passer par une forme intermédiaire de la simplicité : la *simplicité fonctionnelle* ; le premier stade logique de cette simplicité fonctionnelle se trouve au niveau de la simplicité opérationnelle de l'arithmétique. 13°) Cette simplicité fonctionnelle a trouvé ses expressions abstraites dans les constructions mathématiques et ses expressions concrètes dans les lois physico-chimiques, qui s'avéraient *d'autant plus simples qu'elles étaient plus générales.* Cette condition de simplicité fonctionnelle maximum apparaît, tout aussi bien, dans la physique classique (lois de Newton, de Coulomb) et dans la physique moderne (lois de Planck et Einstein : $E = h\nu$; $E = mc^2$). Elle se retrouve dans la Thermodynamique classique, où la *quantité d'énergie,* sous ses diverses formes, est toujours égale au simple *produit* d'une caractéristique d'extensité par une caractéristique d'intensité. Elle se présente sous un aspect *géométrique* dans la loi générale de la Relativité : les lignes d'univers sont des géodésiques de l'espace-temps. Elle prend une forme *dynamique* et *rythmique* à la fois avec la Mécanique ondulatoire, dans l'application unifiée du principe de moindre action de Fermat-Hamilton et dans la condition fondamentale de résonance ; etc.

14°) L'alternance des modalités extensive et intensive du principe de simplicité entraîne, à chaque rencontre de deux chaînes spatiotemporelles élémentaires, une alternative et une véritable *hésitation rythmique* : du fait de l'hétérogénéité de l'espace et du temps, il existe un minimum fini de dimension

physique du rythme primordial, donc un plus petit intervalle de temps physique et une plus petite longueur physique (une fréquence et une amplitude, n'étant pas de même nature physique, ne sont pas interchangeables et ne sauraient se réduire, à la limite, à un commun résidu infiniment petit). 15°) Les *relations d'incertitude* d'Heisenberg traduisent l'aspect *fonctionnel* de cette hésitation rythmique élémentaire ; le *quantum d'action* en donne la valeur *métrique* : la constante universelle de Planck (qui lie d'autre part les pulsations de l'énergie radiante à la fréquence du rythme correspondant) détermine numériquement, à la fois, le grain d'énergie et le grain d'incertitude rythmique. 16°) En ajoutant leurs effets, aux innombrables croisements des chaînes rythmiques élémentaires, dans un monde complexe comme le nôtre, ces incertitudes quantiques introduisent au total, dans les phénomènes macroscopiques, une *marge d'élasticité* finie, qui desserre plus ou moins la texture mécanique du dynamisme universel, selon le degré de composition du système considéré. 17°) Il résulte de ces nombreux croisements et du *jeu* croissant qui en est la conséquence, une possibilité de complication et de diversification elles-mêmes croissantes ; elles se manifestent en particulier : *a*) par l'*irréversibilité* des phénomènes dans ce monde d'un haut degré de complexité ; *b*) par le fait que l'*ambidéterminisme* élémentaire du rythme primordial entraîne un *déterminisme approximatif* des phénomènes perçus à notre échelle ; *c*) par le fait corrélatif que les lois physiques ne sont qu'*approchées* ; *d*) par l'existence d'une *marge de liberté* chez les organismes supérieurs.

18°) Dans la *logique qualitative*, la *complémentarité* correspond aux *antinomies* : on doit admettre, avec Hegel et Hamelin, que *les contraires ne sont en réalité que des corrélatifs ou des complémentaires*. 19°) Il en résulte : *a*) que le principe d'identité et le principe de contradiction de la logique classique sont des perspectives trop sommaires ouvertes sur la complexité du monde réel ; *b*) que le *principe du tiers* exclu correspond à un mode simpliste de la connaissance, qui ne s'adapte pas à une représentation nuancée du réel. 20°) Les mathématiciens ont inventé un procédé de calcul, applicable aux pluralités denses, qui permet, non seulement d'écarter le principe du tiers exclu, mais de *graduer numériquement le principe de contradiction : c'est le Calcul des probabilités*. 21°) Toutefois, une application trop systématique de ce Calcul aux phénomènes physiques (en négligeant le caractère *sélectif* qui se révèle dans la structure fine des phénomènes) a conduit à une conception *erronée* des lois qui régissent le dynamisme physico-chimique : c'est la généralisation des prétendues « lois du hasard », qui a engagé les conceptions de base de la Science dans une impasse dont le caractère provisoire et incomplet n'échappe pas aux savants les plus clairvoyants du temps présent. 22°) Un probabilisme purement

subjectif, techniquement commode mais sans valeur descriptive ni explicative, s'est ainsi substitué à un déterminisme qui s'avérait de son côté trop rigide pour rendre compte de la complexité et de la diversité du monde réel. 23°) Le probabilisme de la physique moderne débouchait finalement, en élargissant de façon excessive l'incertitude quantique d'Heisenberg, sur un *indéterminisme* fondamental à l'échelle de la microphysique.

24°) Or il y a là un grave malentendu : même limitée à la seule « prévision » (et l'humanité attend *en outre* de la Science une description et une explication), aucune science *rationnelle* ne peut être édifiée sur les bases inconsistantes du *hasard* et de l'*indéterminisme*. 25°) L'ambidéterminisme rythmique de la théorie harmonique offre une voie pour sortir de l'impasse ; cette théorie, à côté des lois statistiques, rétablit les lois dynamiques ; pour cela elle fait la part des phénomènes *sélectifs*, sans lesquels il n'y aurait aucun ordre, aucune harmonie véritables dans l'univers ; et elle en précise le mécanisme. 26°) Est-il possible de construire une théorie physico-mathématique reposant sur la seule notion de simplicité relative ? Pour cela, il faut trouver une définition métrique de la simplicité, qui puisse être exprimée et coordonnée mathématiquement. Cette définition sera en partie conventionnelle, comme la définition de la probabilité. Le problème est d'ailleurs sensiblement le même : il faut définir et calculer des *degrés mathématiques de simplicité*, comme on définit et comme on calcule des degrés de probabilités. Le succès du calcul des probabilités en physique est dû au fait qu'on a pu donner une définition métrique de la probabilité, définition sur laquelle sont venues se greffer toutes les combinaisons fonctionnelles des mathématiques générales. On n'a pas encore réussi à faire, pour le déterminisme, c'est-à-dire pour la notion de *causalité*, l'opération qui a été faite pour la probabilité. Mais la causalité doit pouvoir être mathématisée, comme la probabilité, en la graduant métriquement en degrés de simplicité (1).

27°) Il faut pour cela qu'on ait, au préalable, démontré la validité et la *généralité* du principe de simplicité. C'est ce qui a été fait, dans l'ouvrage récemment publié, pour les sciences mathématiques et pour les sciences physiques. Mais le cycle complet décrit par le concept de simplicité, dans l'ensemble de la connaissance humaine, comporte un vaste secteur psychophysiologique, qui se décompose lui-même en un secteur biologique et un secteur psychologique. C'est dans le secteur biologique de ce cycle que nous cherchons actuellement à mettre en évidence la trame rythmique sur laquelle le principe de sim-

(1) Dans cette conception, le principe de causalité s'énonce ainsi : Il y a toujours entre la cause et l'effet les rapports de simplicité relative maximum.

plicité dessine la complexité ordonnée du monde vivant. Ainsi sera mise pleinement en action cette règle fondamentale que Descartes plaçait à la base de sa méthode : « Toute science humaine consiste seulement à voir distinctement comment les natures simples concourent ensemble à la composition des autres choses ». Un grand biologiste, Cl. Bernard, s'exprimait dans les mêmes termes. 28°) Le secteur psychologique devra être à son tour exploré, en se plaçant dans la nouvelle perspective ainsi ouverte, pour en dégager les bases précises d'une Logique de la Simplicité. L'évolution récente de la physique a rendu indispensable et urgente cette évolution de la logique. Une physique dualiste exige une logique dualiste. Car, ainsi que l'a dit F. Gonseth, la logique est la physique de l'objet quelconque. Il ajoutait récemment : « la Mécanique ondulatoire ne trouvera son explication rationnelle que dans le cadre d'une Dialectique de la Complémentarité ». La théorie harmonique pose les bases de cette nouvelle Logique, dans laquelle le principe d'identité est remplacé par un principe plus général et ambivalent : le principe de simplicité.

Conclusion

En définitive, parti d'une théorie physique et d'une Axiomatique mathématique, le cycle philosophique ainsi décrit, après avoir franchi les stades successifs de la psycho-physiologie et de l'épistémologie, débouche sur une métaphysique de l'*Harmonie dans l'ensemble par la Simplicité rythmique dans le détail.*

Il n'est rien en cela qui puisse surprendre. A l'époque moderne, deux grands savants-philosophes : Henri Poincaré, Albert Einstein, ont invoqué le rôle de la simplicité à la base de la construction scientifique. Dans l'ensemble de leurs œuvres, on voit une mathématique et une physique de la Simplicité se développer asymptotiquement à une métaphysique de l'Harmonie. C'est la simplicité intuitive qui, pour le premier, guide la marche du savant dans la « recherche de cette beauté spéciale : le sens de l'harmonie du monde ». C'est elle encore qui, chez le second, éveille et entretient dans l'esprit du savant « l'admiration extasiée de l'harmonie des lois de l'univers ».

André Lamouche.

Reponse de M. André Lamouche à la question de la page 195 *:*

Je n'ai prétendu à aucun moment que **tous** les phénomènes de la nature, appréhendés à **toutes** les échelles, fussent de nature rythmique : il suffit de regarder tomber une pierre pour constater qu'il n'en est rien. Si à l'échelle atomique et subatomique les phénomènes sont, **en majeure partie**, de nature rythmique, ils ne le sont déjà que partiellement à l'échelle moléculaire : les rotations et les vibrations des molécules sont de nature rythmique, les translations ne le sont pas. Et s'il existe, à l'échelle macroscopique, de nombreux phénomènes rythmiques, c'est surtout dans la catégorie des phénomènes **sélectifs**, où l'on voit émerger, à grande échelle, par un effet de périodicité « harmonique », la nature rythmique des phénomènes à petite échelle. Or les phénomènes de turbulence sont précisément de ceux où il n'existe pas, à leur échelle, d'effet sélectif.

QUELQUES ASPECTS DE L'UTILISATION DES RADIOÉLÉMENTS (2ème partie) *

Par Roland MUXART

Docteur de l'Université. Attaché de Recherches au C.N.R.S.

2. - APPLICATION DES ISOTOPES RADIOACTIFS DANS LA RECHERCHE INDUSTRIELLE

A. — Les isotopes radioactifs utilisés dans la métallurgie du fer, de l'acier, des alliages et dans l'étude des problèmes annexes.

Dans la fabrication du fer et des aciers, les radioéléments ont permis d'étudier la cinétique et le mécanisme de quelques processus notamment le transfert d'un constituant à travers l'interface métal-scorie. Le rapport de distribution des éléments entre l'acier et la scorie est un problème de grande importance.

Winkler et Chipman ([71]) ont étudié, par exemple, la distribution du phosphore entre une scorie basique et le métal fondu. Ils utilisent le ^{32}P sous forme de phosphate tricalcique qu'ils ajoutent au bain en fusion à température constante. Des échantillons, prélevés successivement à des temps et températures variés, sont mesurés. Ils ont ainsi pu montrer que l'équilibre était atteint au bout de 15 min.

Goldman étudie de la même manière la vitesse du transfert du soufre et détermine, si d'autres éléments le suivent au cours de son transfert. Il montre, en effet, que le fer suit le soufre ce qui peut permettre d'expliquer le noircissement progressif de la scorie aux cours de la réaction ([72]).

Le soufre est une impureté dans les aciers et il est de première nécessité de le réduire ou de le contrôler dans les lingots. La principale source en est le coke. Dans le charbon, le soufre peut se présenter sous forme minérale ou organique. A l'aide du radiosoufre, Eaton et ses collaborateurs ([73]) ont effectué des recherches sur le procédé de cokéfaction et en particulier déterminé laquelle de ces deux formes était responsable de la grande proportion de soufre présente dans le coke. Marquant la pyrite avec le ^{35}S, et réalisant un traitement dans des conditions normales, ils ont montré que le rapport du radiosoufre pyritique au soufre total était le même dans le gaz et le coke et était égal au rapport du soufre pyritique au soufre total du charbon initial ; ce qui semble montrer que le soufre, qu'il soit à l'état minéral ou orga-

---

* Voir tome LXII, nos 3-4.

nique intervient de manière identique dans le procédé de cokéfaction et que le rapport des deux formes de soufre du charbon n'influence pas la quantité de soufre contenu dans le coke final.

La production de radiocarbone 14 d'activité relativement importante a permi de résoudre un grand nombre de problèmes de la métallurgie de la fonte, des aciers et des alliages. Les phénomènes de durcissement, vieillissement, l'effet des carbures sont autant de problèmes complexes qui ont été étudiés avec le ^{14}C.

La méthode autoradiographique apparaît être pour ces études d'une grande utilisation, notamment dans les problèmes de diffusion, migration des atomes de carbone ou autres éléments à travers un acier ou un alliage en fonction d'un traitement thermique.

La diffusion en métallurgie est peut-être le plus important des processus qui peut être étudié par le moyen des radioéléments ([73] *bis*). A ce phénomène, se rattachent des problèmes tels que ségrégation ([73]*ter*) cristallisation, corrosion, etc...

Un exemple type simple illustrera cette méthode. On a déterminé la vitesse de diffusion des atomes d'argent à l'intérieur d'un bloc d'argent en utilisant $^{110}Ag^*$. Le radioargent est déposé par voie électrolytique sur un bloc d'argent puis porté plusieurs heures à 500° C. Après refroidissement, des feuilles minces d'argent sont extraites du bloc et chacune mesurée au compteur. Les résultats indiquent que les atomes d'argent se déplacent à l'intérieur du bloc avec une vitesse de 2,5 mm par semaine à 500° C (pour plus de détails voir page 83) ([74]).

Selon le principe de cette méthode, sur un plan purement industriel, Stanley ([74 bis]) étudie le mécanisme de la carburation. Il soumet pendant 50 heures à 1.700° F, une capsule en fer étanche, renfermant un mélange, en proportions convenables, de carbone actif pulvérulent et de radiocarbonate de baryum. Après refroidissement et mesures, les résultats indiquent que 85 % du radiocarbonate initial a diffusé dans le fer. L'examem autoradiographique lui permet de localiser les positions où les atomes de radiocarbone se sont combinés avec le fer pour donner un carbure.

On voit alors l'importance de ces études qui ont pour but de donner plus de connaissances sur la structure métallique interne dont dépendent les propriétés mécaniques des aciers et alliages.

L'emploi des radioisotopes fournit aussi une excellente méthode rapide, simple et précise d'analyse des constituants des aciers et des alliages quand on sait que la précision des méthodes de la chimie classique devient médiocre, quand la quantité d'éléments diminue.

La mise en évidence des constituants tels que phosphore, bore, soufre, etc... est rendue possible par l'emploi des isotopes radioactifs correspondants. Ici, encore la méthode autoradiographique de détection s'est révélée d'une grande sensibilité.

L'introduction de l'isotope radioactif peut se faire par différentes voies :

— l'indicateur est introduit avant la coulée du lingot ;

— l'indicateur est obtenu par irradiation directe du lingot ; par exemple, Faraggi et collaborateurs ([75]) mettent en évidence le constituant boré dans l'acier au bore en irradiant l'échantillon d'acier, ayant préalablement subi un traitement thermique, par un flux de neutrons, puis en effectuant une autoradiographie.

Dans ces conditions l'examen des clichés indique de fines précipitations de bore dans un acier à 0,01 % de bore.

— l'indicateur est introduit par l'intermédiaire des phénomènes de diffusion et d'échange isotopique ; l'échantillon poli est mis en contact avec une solution aqueuse d'un sel radioactif du métal à mettre en évidence, de forte activité spécifique. On effectue ensuite soit un examen de la surface active avec un compteur, soit, pour la structure fine, une autoradiographie.

Cette dernière méthode permet en outre d'étudier les réactions de surface (échange ionique, échange avec le réseau, précipitation de surface, adsorption de cations par les métaux, etc...) avec des matériaux minéraux, métalliques ou biologiques ([76]).

La méthode des radioindicateurs associée à la méthode autoradiographique, peut encore être efficace pour étudier les phénomènes d'oxydation et de corrosion ([76*bis*]). Bardeen ([77]), et ses collaborateurs ont confirmé la théorie de l'oxydation suggérée par Wagner (*) en étudiant l'oxydation du cuivre, à l'aide du radiocuivre ([64]). Pour cela, ils déposent, par voie électrolytique, une fine couche de radiocuivre sur un bloc de cuivre et soumettent la surface active à une oxydation à 1.000° C pendant 18 minutes à pression atmosphérique ; l'épaisseur de la couche d'oxyde formé, mesurée par pesées, atteint alors $1{,}25.10^{-2}$ cm. Ensuite, des couches successives d'oxyde sont extraites chimiquement et mesurées. Ils observent que la diffusion du Cu* dans la couche d'oxyde est en accord quantitatif avec la théorie de base de l'oxydation. Ils admettent pour expliquer l'oxydation dans ce cas, que les incrustations d'oxyde de cuivre croissent par un mécanisme faisant intervenir une diffusion des atomes de cuivre vacants, dans le trellis de CuO de la surface, vers l'intérieur du métal.

Le problème de la corrosion a été étudié, à l'aide des indicateurs ; dans le cas de l'action de l'eau de mer sur l'acier, avec le radiochlore, on a pu montrer que ce sont les ions Cl^-, contenus dans l'eau de mer qui sont responsables de son action corrosive sur les aciers.

Toujours dans le domaine de l'étude de la corrosion, Brasher et Stove ([78]) se sont intéressés au mécanisme de l'action des inhibiteurs de corrosion, sur une feuille d'acier doux, en utilisant les radioindicateurs.

B. — Les isotopes radioactifs utilisés dans l'industrie des verres et céramiques.

Les isotopes radioactifs s'étant montrés très utiles pour étudier les systèmes complexes, les modifications physico-chimiques ayant

(*) Wagner, *Zeits. f. Physik. Chemie*, 1933, B 21, 25, 1936, B 22, 447, 1938, B 40, 455 ; *Trans. Far. Soc.*, 1938, 34, 851.

lieu lors de la fabrication des verres et céramiques pourront être étudiées par cette méthode ([79]).

La méthode d'émanation utilisée pour la première fois par Hahn en 1929 (*) pour résoudre des problèmes physico-chimiques a été reprise par Lindroth (**) pour étudier la fusion d'un bain de verre ; on sait en effet, que le verre est le résultat d'un traitement thermique sur un mélange de dérivés minéraux (silice, chaux, soude).

Appliquant ce procédé, un petit échantillon du mélange (200 mg) est traité par une solution de radiothorium (0,1 mC/cc.). Après séchage et tamisage, l'échantillon est introduit dans une petite capsule en platine et chauffé à vitesse constante (10° C par minute) jusqu'à 900-1.000° C. Au cours du traitement thermique, on suit la valeur du pouvoir de l'émanation (***) par la mesure radioactive de l'intensité d'ionisation (chambre d'ionisation), en fonction de la température atteinte. L'analyse de la courbe donne des indications sur les transformations physiques, et chimiques du verre lors du chauffage et en particulier sur l'influence des constituants de base.

Les radioisotopes permettent d'approfondir le mécanisme de formation de la structure fine du verre et de l'état vitreux. Ces mécanismes ont pu être étudiés par mesure de la vitesse de diffusion des ions caractéristiques des verres ou silicates.

Le sodium 21 a permis la mesure de la diffusion du sodium dans un verre à 650°, l'auteur utilise la méthode auto-radiographique et obtient des résultats avec une précision inférieure à 3 % ([80]).

L'efficacité de la « désalcalisation » des surfaces de verre a été déterminée par utilisation de 24 Na par Fitzgerald ([81]).

Dans les recherches sur les céramiques, beaucoup de problèmes ont reçu une solution grâce à la méthode des radioisotopes, tels des problèmes de surface, de diffusion, de volatilisation ([82]).

C. — Les isotopes radioactifs utilisés dans d'autres industries

Les substances radioactives, ont été utilisées depuis longtemps dans l'industrie des pétroles, en particulier dans la technique des forages pour déterminer la profondeur et l'épaisseur des couches géologiques ([83]).

(*) O. Hahn, *Naturwissenschaften*, 1929, 17, 18, 295 ; *Ceram. Abstracts*, 1930, 9, 4, 308.

(**) S. A. Lindroth, *Jour. Amer. Ceram. Soc.*, 1949, 32, 6, 198.

(***) Hahn définit le pouvoir émanateur d'une substance comme étant le rapport de la quantité d'émanation provenant de la substance, pendant l'unité de temps, sur la quantité totale de l'émanation qui se forme dans la substance, pendant l'unité de temps.

Dans le pouvoir émanateur interviennent les atomes qui s'échappent par recul direct, au moment de la désintégration radioactive des atomes mères (Ra-Th...) et ceux qui s'échappent après recul, par diffusion à travers la matière. Le pouvoir émanateur est la somme de la fraction de recul Σ_R et de la fraction de diffusion Σ_D :

$$\Sigma = \Sigma_R + \Sigma_D$$

Pour plus de détails théoriques, se reporter aux articles suivants :

O. Hahn, *Journ. Chem. Soc. Suppl. S.*, 1949, 259.

Flugge et Zimmers, *Z. Physik. Chem.*, 1939, 179, B 42.

Dans les procédés de raffinage, le cracking, la chimie des hydrocarbures, et autres problèmes essentiels de l'industrie du pétrole, les radioéléments s'avèrent d'une grande utilité.

Des problèmes d'hydrologie, comme la perméabilité des terrains, le mécanisme de déplacement de fluides en milieu poreux, sont autant de problèmes intéressant l'industrie des pétroles et qu'il est possible d'étudier à l'aide des éléments radioactifs.

La nature du mélange (huile + gaz + eau) qui est un facteur de première importance puisque l'épuisement le plus efficace de la nappe dépend de celle-ci, pourra être déterminée. Le ^{60}Co a été utilisé pour étudier ce problème ([83]).

Enfin, nous avons déjà eu l'occasion de voir comment les indicateurs radioactifs ont aidé à éclaircir le mécanisme de la réaction de Fischer-Tropsch, problème important dans les questions pétrolifères (voir page 91).

L'imprimerie utilise la méthode des indicateurs radioactifs (incorporation de composés radioactifs à une encre) pour des mesures pouvant fournir des indications sur la relation entre l'impression, la quantité d'encre utilisée, la qualité du papier et la température d'impression ([84]).

L'industrie du caoutchouc s'adresse aussi aux indicateurs radioactifs pour étudier le mécanisme des phénomènes de vulcanisation et de polymérisation ([85]).

En conclusion, il n'est pas nécessaire d'allonger la liste des exemples pour montrer l'intérêt de la méthode des radioisotopes pour étudier les divers problèmes fondamentaux concernant la recherche industrielle.

D. — Les indicateurs radioactifs utilisés pour étudier le phénomène de friction et la lubrification.

La friction peut être expliquée par le transfert de métal ou autre matériel d'une surface à une autre, quand on frotte une surface sur une autre. Le phénomène d'usure est influencé par divers facteurs et en particulier par la pression, la dureté, la lubrification et l'analogie ou non des matériaux utilisés. On considère que le mécanisme général de l'usure se caractérise par le fait, que le glissement d'une surface sur une autre, arrache des particules extrêmement petites sur l'une et les dépose sur l'autre. Les indicateurs peuvent permettre de mettre en évidence ce fait et d'étudier un certain nombre de problèmes concernant l'usure des matériaux (métaux, plastiques, pneus, réfractaires dans les hauts fourneaux, etc...).

Le principe général est le suivant : la surface d'un des métaux renfermant un isotope radioactif est frottée sur la surface de l'autre métal. Après frottement, la surface initialement inactive est examinée soit au point de vue qualitatif à l'aide d'un compteur, soit pour localiser le métal transféré à l'aide d'un autoradiogramme. Un certain nombre de travaux vont nous montrer l'intérêt de cette méthode.

Parmi ceux-ci, Sakman et ses collaborateurs ([86]) nous donnent une méthode permettant de déceler des quantités de l'ordre de 10^{-4} microgramme. Ils font glisser une surface métallique sur une autre (appelée surface de base : alliage Cu-Be) radioactive dans des conditions variées et mesurent, à l'aide d'un compteur le métal transféré sur la surface frottante. Ils montrent que la quantité de métal de base arrachée est proportionnelle à la charge et croît avec la distance de balayage. Ces données étant constantes, le métal arraché dépend du degré de friction et de la dureté de la surface frottante.

D'autres mesures ont été faites parmi lesquelles l'influence de la lubrification qui diminue la quantité de métal arraché (on peut supposer que la friction métallique dépend de l'adhésion des deux surfaces ; le lubrifiant intervient alors, pour diminuer la surface de contact entre les deux métaux). L'influence de la composition du métal frottant a été, aussi, mis en évidence.

Burwell et Grégory ([87]) étudient le même problème en utilisant la méthode autoradiographique. Burwell admet, après examen des autoradiogrammes qu'une surface dite polie, ne l'est pas à l'échelle atomique et qu'en conséquence, quand deux surfaces sont appliquées l'une contre l'autre, seules certaines régions isolées des deux surfaces entrent en contact.

Ces quelques exemples, nous montrent la valeur de la méthode, surtout dans le cas du frottement de deux métaux identiques où les méthodes chimiques de détection du transfert métallique sont quasiment inutilisables.

Nous allons montrer, maintenant, une application des radioindicateurs à des études d'usure, à l'échelle industrielle.

On sait, en effet, que les essais de détermination de l'usure de certains organes de machines sont des problèmes extrêmement difficiles à étudier avec une bonne précision.

Pinotti ([88]) nous signale un exemple dans lequel les traceurs sont introduits dans une partie de l'organe soumis à la friction. La quantité de métal radioactif éliminée dans une partie de la machine et dans le lubrifiant est déterminée par un compteur de Geiger Muller. Il étudie l'usure d'un segment radioactif de piston dans un cylindre, il mesure à intervalles réguliers l'huile servant de lubrifiant en ayant soin de réintroduire celle-ci dans la machine de telle façon que l'activité spécifique ne soit pas altérée ; il vérifie que la perte de masse du piston correspond bien à la quantité de fer déterminée par mesure de la radio-activité contenue dans l'huile. Pour un moteur tournant 12 h, il trouve : poids de fer par radioindicateurs 24,6 mg ; par pesées 25 mg.

Burwell et Murray ([89]) montre avec du radiochrome, par autoradiogramme, que le métal, transféré dans le cylindre, qui résiste aux lavages et frottements se situe à la limite supérieure de la course du piston. Il explique ceci par le fait qu'il y a une très petite quantité de lubrifiant présente à cet endroit et qu'en conséquence le métal s'incruste dans la paroi du cylindre en dépit de la haute température

et de l'oxydation prononcée produite par combustion qui a lieu dans cette région.

Ezran ([90]) nous montre l'intérêt de la méthode de Pinotti dans le cas de l'usure des plastiques stratifiés. Les applications toujours croissantes de ces matériaux (roulements, coussinets, etc...) nécessite de connaître l'usure du plastique en fonction de la perte de masse.

Le principe suggéré par Pinotti, repris par l'auteur consiste à rendre le chlorure de sodium, présent dans le plastique stratifié, radioactif et à évaluer la perte de masse du stratifié, au cours de l'usure, par le rayonnement émis par l'huile qui a recueilli la poussière provenant de l'usure (quand la teneur initiale, en chlorure de sodium, du plastique est trop faible on l'accroît par immersion de l'échantillon dans une solution de chlorure de sodium. On vérifie ensuite, que la quantité de sel ayant pénétré dans le plastique est sensiblement uniforme suivant l'épaisseur intéressée par l'essai d'usure).

Urbain ([91]), étudie à l'aide du tungstène 187 l'usure d'une électrode de W au cours du soudage, usure qui ne peut pas être mise en évidence par l'analyse chimique à cause de la très faible consommation de l'électrode, et par pesées en raison des projections et évaporation survenues au cours du soudage. L'utilisation d'une électrode radioactive permet de montrer que la consommation globale au cours du soudage est de l'ordre de 50 μg par cm de soudure pour l'acier inoxydable et sensiblement la moitié pour les alliages légers. La technique autoradiographique permet en outre de localiser les lieux de projections.

La lubrification qui, comme nous l'avons vu précédemment diminue l'usure, sans toutefois l'éliminer, dans un système contenant deux métaux ou autres substances susceptibles d'être soumis à un frottement peut être étudiée à l'aide des radioindicateurs. Incorporés dans une huile (par exemple huile sulfurée avec 35 S*) ceux-ci permettent de déterminer le lieu où agit et se dépose celle-ci dans un ensemble frottant ou dans les parties annexes ([92]).

II. - APPLICATION DES ISOTOPES RADIOACTIFS COMME SOURCE DE RAYONNEMENT

A. — Applications basées sur les propriétés fondamentales du rayonnement émis par les substances radioactives.

1. *La propriété ionisante*

On sait, en effet, que le rayonnement est capable de décharger la feuille d'or d'un électroscope, d'où son utilisation pour rendre certains milieux conducteurs de l'électricité et l'application typique de cette propriété sera l'élimination des charges statiques qui sont créées par frottement ou autres procédés au voisinage des machines.

2. *La propriété d'être absorbé ou réfléchi*

Nous avons vu que les radiations sont absorbées ou réfléchies de différentes manières par des substances variées.

Ces deux dernières propriétés permettront d'employer les isotopes radioactifs comme moyen de contrôle, puisque l'intensité du rayonnement, émis par ces éléments, reçue par un détecteur, sera fonction de l'épaisseur ou de la nature de la substance interposée entre la source et le détecteur.

1. *Applications basées sur la propriété ionisante du rayonnement.*

Un premier exemple nous est fourni par l'utilisation des radioéléments pour éliminer les charges statiques qui sont créées par frottement de rouleaux ou d'autres organes de machines lors de la fabrication de matières telles que le papier, les produits textiles, les matières plastiques, dans l'imprimerie, la fabrication des films photographiques, etc. ([93]).

Cette accumulation de charges électriques peut constituer d'une part, un très grand danger, surtout dans le cas du voisinage de matières inflammables (vapeurs, produits organiques, etc...) et d'autre part nuire à la fabrication (notamment en filature : casse, irrégularité du tissage, etc...).

Diverses méthodes ont été utilisées en vue de diminuer ou éliminer de telles charges.

Les principales utilisent les propriétés ionisantes des radioéléments et en particulier les émetteurs α (radium dans l'ionotron fabriqué par l'U.S. Radium Corporation, Polonium dans l'alphatron fabriqué par la Gibbs Manufacturing and Research Corporation).

L'introduction de telles sources à l'endroit où des charges électriques peuvent s'accumuler provoque la réduction ou la disparition de la charge à un niveau inférieur à celui susceptible de provoquer une décharge.

Les appareils ne sont pas dangereux car ils sont munis de dispositifs de sécurité (blindage, etc...).

On a utilisé aussi ^{60}Co et ^{204}Tl et l'on tend actuellement vers l'emploi du ^{89}Sr ou ^{90}Sr.

Signalons l'utilisation de telles sources pour éliminer les charges statiques au voisinage des coupes de tissus effectuées au microtome et dans les micro-balances et ultra-microbalances à fil de quartz ou celles-ci affectent la sensibilité.

Irvine ([94]) nous donne une application très intéressante des propriétés ionisantes du rayonnement comme source d'ions dans un tube à décharge gazeuse, pour diminuer le temps de réponse quand on applique un certain potentiel. Si une petite source de ^{60}Co ou de radium est placée dans le tube à décharge, des ions seront toujours présents et lorsqu'on appliquera un certain potentiel aux bornes du tube, on sera certain d'obtenir une décharge immédiate (possibilité d'emploi d'un tel système dans les lampes fluorescentes).

Linder et Christian ([95]) utilisent une source de radiations β comme générateur de haute tension, ce qui représente la conversion directe de l'énergie nucléaire en énergie électrique.

Avec un émetteur de ^{90}Sr (émetteur β purs) de 0,25 C ils obtiennent une tension de 365.000 volts sous une pression de 10^{-3} mm.

2. *Applications basées sur la propriété du rayonnement d'être absorbé et réfléchi*

Les applications basées sur ces deux propriétés permettent d'utiliser les isotopes radioactifs soit comme moyen de mesures, soit comme moyen de contrôles ou les deux. Dans ces domaines les exemples sont nombreux car la méthode a de multiples avantages tels que simplicité, grande sensibilité, faible encombrement de l'installation de mesures, suppression de contacts mécaniques avec les matériaux, etc...

Les exemples que nous allons examiner brièvement sont en grande partie extraits d'articles de Schreiber, publiés en 1948 et 1949 ([96]).

a) *Utilisation comme indicateur de niveau*

Dans certains cas, il est difficile de mesurer par les méthodes ordinaires le niveau d'un liquide dans un réservoir, soit que l'on est en présence d'un liquide corrosif ou d'un dégagement gazeux, soit que l'on ait à faire à un liquide visqueux ou un métal en fusion ([97]).

Dans le premier cas, on pourra, par exemple placer sur le liquide, un flotteur contenant une source radioactive (émetteur γ) dans une enceinte non attaquable par le liquide, pouvant être animé d'un mouvement vertical entre 2 rails ; un compteur placé à la partie supérieure et à l'extérieur du réservoir recevra un flux de rayonnement fonction de la distance source-compteur (ou niveau du liquide-compteur) ; un dispositif pourra permettre une lecture directe, après étalonnage, de la hauteur du liquide et accessoirement commander l'ouverture ou la fermeture d'une vanne.

Dans le second cas, Mac Cutcheon ([98]) a mis au point un dispositif permettant de mesurer la hauteur d'un métal en fusion dans un réservoir, en fonderie. L'émetteur et le détecteur sont placés de part et d'autre de la masse métallique à l'extérieur de la cuve et un dispositif lumineux permet d'indiquer le degré de remplissage du réservoir.

Des variantes de ces systèmes peuvent permettre de mesurer plusieurs niveaux et donner des indications continues en fonction du temps, au cours de la fusion ou de la coulée du métal.

b) *Utilisation pour la mesure d'épaisseurs*

Suivant les cas, deux dispositifs pourront être utilisés. L'un est basé sur l'absorption, l'autre sur la réflection du rayonnement par une substance ([99]).

Envisageons la première possibilité. Le rayonnement β est absorbé par une substance de telle façon que l'intensité du faisceau émergeant est fonction de l'intensité initiale, de l'énergie de la radiation, de la composition et de l'épaisseur de la substance traversée. En conséquence, le rapport $\frac{I \text{ émergeant}}{I \text{ incident}}$ peut être une mesure de l'épaisseur d'une substance homogène.

Grâce à cette propriété on a pu imaginer de nombreuses applications. Le principe de base est le suivant : une source et un détecteur sont placés de part et d'autre de la feuille ou du film dont on veut mesurer l'épaisseur. Dans ces conditions, le détecteur reçoit le rayonnement émergeant ; il peut permettre le contrôle automatique et continu de l'épaisseur et à l'aide d'un dispositif servomécanique ou différentiel, commander l'ajustement, entre certaines limites, de l'épaisseur de la feuille ou du film sortant d'un laminoir.

C'est ainsi que l'on a pu mesurer l'épaisseur d'un film plastique, d'une feuille de papier ou de carton, d'une feuille de caoutchouc, etc... à la sortie des laminoirs ou calandres ([100]).

La précision de ces méthodes est très bonne, avec ^{90}Sr par exemple, on a mesuré le poids au m^2 du papier sur machine. Les mesures faites sur une largeur de 375 mm donne une précision de $\pm$ 0,5 % en épaisseur et $\pm$ 0,3 g au m^2. Pour des papiers à condensateur, on arrive à déceler des variations d'épaisseur de moins de 2/10.000 de mm ([101]).

Des épaisseurs de film de l'ordre du micron, ont pu être aisément mesurées avec ^{131}I, alors que les méthodes courantes étaient très difficilement utilisables.

Les principaux radioéléments utilisés comme sources sont le ^{14}C, ^{32}P, ^{35}S, ^{86}Rb, ^{87}Rb, ^{131}I, ^{89}Zr et le plus important le ^{89}Sr qui n'émet que des β. Le détecteur peut être un simple compteur ou une chambre d'ionisation.

La seconde méthode consiste à mesurer l'intensité du rayonnement réfléchi. Celle-ci permet alors, de mesurer l'épaisseur de substances revêtantes de tout type ainsi que celle de feuilles ou films minces. L'avantage de cette méthode réside dans le fait que l'on peut faire des mesures dans le cas de matériaux accessibles uniquement dans une direction. En effet, la source et le détecteur se trouvent du même côté, bien souvent dans le même appareil, la radiation émise ne pouvant revenir directement au détecteur ([102]).

Dans ces conditions, le détecteur recevra les radiations β réfléchies par la matière, quand une couche de la substance revêtante étudiée sera placée dans la position de mesure et l'intensité de radiations reçue, sera fonction de la quantité de substances revêtantes déposée sur le support.

Comme dans le cas précédent, le courant créé dans la chambre d'ionisation pourra être utilisé pour actionner un dispositif permettant de régler l'épaisseur du dépôt.

Un tel système a été utilisé pour mesurer l'épaisseur d'un film mince de plastique déposé sur la surface d'une autre matière, l'épaisseur de la pulpe recouvrant la dernière couche d'un papier carton, l'épaisseur d'une couche de peinture ou laque sur une surface métallique, l'épaisseur d'un revêtement métallique sur de l'acier, de la porcelaine, etc..., et enfin l'épaisseur d'un dépôt électrolytique.

Une application très importante de ces méthodes consiste dans la mesure de l'épaisseur des canalisations métalliques ou non, de plaques d'acier ou autres. La méthode par réflection est la plus couram-

ment utilisée pour des raisons d'ordre géométrique (dans bien des cas, la canalisation n'est accessible que d'un seul côté) ([103]).

Elle est connue sous le nom de « pénétron », qui consiste à mesurer l'intensité du rayonnement réfléchi, basée sur le fait que, quand l'épaisseur ou la densité du matériau exposé croît, la réflection du rayonnement croît (après étalonnage sur un matériau connu, on pourra, à l'aide de la mesure du rayonnement réfléchi, mesurer avec précision l'épaisseur). On utilise couramment des cources de 1 mC de ^{60}Co ou de radium. Par cette méthode on peut mesurer un tube d'acier de 1,25 cm d'épaisseur avec une précision de 5 %.

c) Utilisation dans d'autres cas

Basé sur l'absorption du rayonnement, Blau et Carlin ([104]) mesurent la surface de petites et irrégulières feuilles de matière. Pour cela ils placent l'objet sur une source uniforme, plane de radiations et mesurent la décroissance de l'activité produite. Dans ce cas, une source de polonium est utilisée et son rayonnement est complètement absorbé par une très fine épaisseur de matière (0,025 mm).

Feuer ([105]) nous fournit une application originale de l'absorption du rayonnement α par l'air, à une microbalance. En fixant une source de rayons α à l'extrémité du fléau d'une balance, à un seul plateau, il en augmente la sensibilité. Une chambre d'ionisation et un dispositif électronique permettent de mesurer le courant fourni par la source, courant proportionnel à la masse appliquée sur le plateau.

Dans la prospection pétrolifère, l'introduction des isotopes radioactifs permet de mener à bien les opérations de forage. Les mesures sont basées sur la quantité de rayonnement réfléchie par les parois du puits et reçue par le dispositif de mesures. La réflection est, en effet, pour les neutrons et les rayons-γ, caractéristique, puisque l'absorption est fonction de la couche géologique traversée ([106]).

Par mesure de l'intensité d'absorption ou de réflection du rayonnement γ on peut déterminer la densité d'un corps, cette valeur pouvant parfois donner des indications relatives à la masse moléculaire, notamment pour des grosses molécules telles que les résines.

Un dispositif particulier pourra permettre cette mesure de densité dans une canalisation et la contrôler d'une façon continue. L'appareil sera étalonné, au préalable, en densité avec des échantillons de la substance dont on veut déterminer la densité.

La précision par cette méthode, aux rayons γ, est moins bonne que celle au pienomètre, toutefois, dans le cas de la mesure de la densité d'un liquide, elle peut atteindre 2 % ([107]).

D'une manière analogue, on peut mesurer la concentration d'une solution donnée puisque l'on sait que la valeur de l'intensité du rayonnement réfléchi est fonction de l'intensité de la source, de la densité et de l'épaisseur de la solution. La technique des radioisotopes peut être encore, dans ce cas, utilisée pour contrôler automatiquement les procédés de dissolution, dilution, déterminer l'homogénéité d'un mélange (suspension, émulsion : cas par exemple d'un mélange de latex et d'air dans la fabrication du caoutchouc mousse).

3. *Gammagraphie*

Les exemples d'utilisation des isotopes radioactifs comme source de radiations, basés sur la propriété du rayonnement d'être absorbé, ne seraient pas complets si nous ne disions quelques mots de la gammagraphie.

On sait, en effet, que le principe de la radiographie est basé sur l'exposition d'un film photographique au rayonnement émis par une source intense. Généralement, on utilisait les rayons X, mais depuis la découverte des radioéléments artificiels (quoique le radium ait déjà été utilisé dans ce sens), certains isotopes radioactifs tels que ^{60}Co, ^{182}Ta, ^{154}Eu, qui émettent un rayonnement beaucoup plus pénétrant que les rayons X, sont employés avec succès dans ce domaine.

Des avantages importants des émetteurs γ ont permis à ceux-ci de se substituer peu à peu aux rayons X. Citons par exemple, la place réduite qu'ils occupent (possibilité de les introduire dans une pièce, un tube, etc...) et leur prix relativement bas.

Pour l'utilisation de telles sources, plusieurs facteurs devront être considérés : période, spectre du rayonnement, haute activité spécifique et ponctualité des sources. Ces conditions réalisées, la méthode générale consiste à introduire l'objet à examiner entre la source et le détecteur (film photographique), à laisser pendant un temps d'exposition suffisamment long puis à développer le cliché. Une ou plusieurs taches opaques apparaîtront alors sur celui-ci, si la pièce soumise à l'examen contient des fissures, crevasses ou autres.

B. — Applications basées sur la méthode des radioindicateurs.

a) *Le radioindicateur est utilisé dans le but d'une mesure et d'un contrôle*

Dans certains cas, au lieu d'utiliser une source de radiations extérieures pour mesurer ou contrôler une opération, on l'incorpore dans un des constituants du système que l'on veut contrôler ou mesurer ; on est ramené alors, à la méthode de marquage par isotopes radioactifs.

Dans l'industrie de la rayonne, par exemple, les lubrifiants sont couramment utilisés pour faciliter les opérations de tissage. Il est nécessaire alors de connaître l'uniformité de la distribution du lubrifiant sur le fil. Pour ce faire, on marque un élément contenu dans le lubrifiant (par exemple 21 Na de l'oléate de sodium) et on opère comme à l'habitude, c'est-à-dire mesure de l'activité qui permet de régler automatiquement et d'une manière continue l'épaisseur de lubrifiant déposé sur le fil de rayonne.

Le lubrifiant est ensuite chassé du fil et la radioactivité permettra encore de contrôler l'élimination totale de celui-ci ([108]).

En papeterie, les isotopes radioactifs peuvent être utilisés pour contrôler l'efficacité des lavages de la pulpe soit après digestion, soit après blanchiement, afin de vérifier l'absence de substances chimiques telles que les ions chlore ou autres dans les eaux de lavage.

De la même manière, on pourra contrôler l'efficacité de l'élimination du soufre dans un bain désulfurisant dans la fabrication de la viscose. On sait en effet que la présence de soufre affecte la couleur et les propriétés physiques du produit final.

Pour cela on utilisera du C S_2* que l'on fera réagir avec la pulpe de cellulose et mesurera le fil à la sortie du bain de lavage ([109]).

Les radioéléments incorporés à un bain de teinture permettent de contrôler la concentration en couleur du bain et de régulariser la quantité de teinture par unité de surface de tissu. De cette façon on peut éliminer les variations de teintes entre le début et la fin de l'opération ([110]).

Certains problèmes concernant l'hygiène industrielle et la toxicologie reçoivent une solution grâce aux radioéléments.

L'important problème de la détermination de très petites quantités de matières toxiques dans l'air d'un local industriel a été étudié. Dans le cas d'une usine de lampes fluorescentes, on a mesuré la concentration du mercure dans l'air ambiant à l'aide ^{197}Hg et montré qu'elle était de 0,01 mg par m^3. La mesure peut être faite sur des masses de mercure de l'ordre de 10^{-8} g ([111]). L'industrie des plastiques entrevoit une méthode similaire permettant de détecter les dissémination de charges ou de plastifiants dans le milieu ambiant par exudation, abrasion et évaporation des plastifiants ([112]).

Dans les industries chimiques, le contrôle du dégagement des vapeurs toxiques telles que l'oxyde de carbone, pourra être fait avec ^{14}C. Pour la protection dans l'industrie de la viscose, on pourra utiliser du radiosulfure de carbone pour contrôler l'évaporation dans l'atmosphère.

Les radioéléments pourront être utilisés avec efficacité pour étudier les problèmes de pollution, notamment dans les manufactures de produits chimiques qui déversent des quantités importantes de résidus dans les rivières.

b) *Le radioindicateur est utilisé dans le but d'effectuer une localisation.*

Il est nécessaire dans certains cas de localiser la position exacte d'un échantillon ou une fuite dans des canalisations souterraines. Les radioéléments seront encore dans ces cas d'un concours précieux.

Localiser un échantillon de pétrole brut dans un pipeline ou détecter avec efficacité la direction de chaque type d'huile brute à l'intérieur des pipelines d'une raffinerie devient possible en introduisant du radiobaryum avant d'introduire le pétrole. Un simple compteur portatif permet de suivre et de localiser la position du radioélément par son rayonnement, à l'extérieur de la canalisation.

Dans ce cas, il est nécessaire d'introduire peu de radioisotope et surtout un isotope de courte période de telle manière que lorsque le produit pétrolier arrivera à la consommation il soit inactif ([113]).

On sait, par exemple, que les pipelines s'encrassent au bout d'un certain temps. La méthode courante de nettoyage consiste à utiliser un grattoir qui se déplace sous l'action de la pression du liquide.

Parfois, il se bloque dans le tube et il est difficile de le repérer. Le problème a été résolu en fixant un émetteur γ sur celui-ci et en le suivant à l'aide d'un dispositif approprié ([114]).

L'étendue d'une nappe gazeuse, liquide pourra être mesurée en injectant dans un puits, des radioéléments gazeux ou liquides et en détectant l'activité au voisinage de ce puits.

Aucune des méthodes courantes de détection de fuites souterraines n'est applicable dans toutes les conditions. La méthode radioactive présente certains avantages tels que simplicité et sensibilité. Le principe est le suivant : le gaz radioactif (radon C*0) est introduit en un point déterminé. Si la conduite a une fuite, le traceur se déplacera dans cette direction et arrivant à la fuite, il pénètrera dans le sol et diffusera dans toutes les directions mais de préférence le long de la conduite ou le sol est meuble. Des trous espacés sont perforés dans le sol au-dessus de la conduite et l'air provenant du sol est pompé vers les appareils détecteurs ; les trous, ayant des positions déterminées, permettent de localiser la fuite ([115]). Une variation de cette méthode a été appliquée avec succès, pour détecter les fuites sur les câbles téléphoniques souterrains ou en canalisation avec du radiobromure de méthyle ([116]).

Ces procédés de localisation de fuites peuvent servir pour vérifier l'étanchéité de certaines installations (chambre à gaz, chambres d'expériences en soufflerie, caissons de raccord de câbles sous-marins, etc...) ([117]).

La recherche de repères enterrés, limitant une surface est quelquefois laborieuse. Schreiber propose pour faciliter cette recherche de marquer les jalons à l'aide d'un radioisotope. Il montre qu'un repère contenant 10 μC de ^{60}Co peut être détecté sous 30 cm de terre et ne présente aucun danger ([118]).

III. - CONCLUSIONS

Il ressort de cette revue succincte des différentes applications des radioéléments à la chimie et à l'industrie que ceux-ci peuvent être employés avec succès pour résoudre un grand nombre de problèmes (recherche, mesure) ou pour contrôler les méthodes existantes, si l'on tient compte des différents éléments nécessaire pour une utilisation judicieuse.

Toutefois, il convient de signaler que la méthode des isotopes radioactifs nécessite un équipement particulier, des manipulations et des techniques délicates.

Pour l'utilisateur, deux cas peuvent se présenter :

1) La méthode des isotopes radioactifs est la seule méthode qui peut être utilisée pour résoudre le problème proposé parce qu'aucune autre technique ne permet de le faire.

2) La méthode des isotopes radioactifs n'est pas absolument nécessaire, mais pratiquement il sera plus aisé de l'utiliser que d'autres méthodes soit parce qu'elle est plus sensible, soit parce qu'elle conduit à des résultats plus précis, soit enfin, parce qu'elle est la plus simple.

En règle générale, les radioéléments ne devront être utilisés que si l'une de ces conditions est remplie. Toutefois, dans certains cas, quoique la méthode des isotopes radioactifs semble plus simple ou plus précise que d'autres, sa mise au point sur le problème à l'étude peut être très longue et fastidieuse et conduire à des résultats quelquefois désastreux. On ne doit pas, *a priori*, utiliser cette méthode parce que c'est une méthode d'actualité sans avoir examiné toutes celles dont on peut disposer. La sélection étant faite, il faut, avant d'entreprendre son application sur une grande échelle, faire de multiples essais afin de se placer dans les meilleures conditions de réussite. Alors seulement, on peut envisager son extension sur le plan industriel.

R. Muxart.

QUELQUES RADIOÉLÉMENTS ARTIFICIELS UTILISÉS DANS LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE

Eléments	Z	Isotopes	Réact. de prod. à partir du rayon. issu d'une pile	Période du radioélém. formé	Energie maximum du rayonnement émis en M.E.V.	
					β	γ
Carbone.....	6	14	$^{14}N(n.p)\ ^{14}C$	5.400 ans	0,155	
Sodium	11	24	$^{23}Na(n.\gamma)^{24}Na$	14,9 h.	1,39	2,76 1,38
Potassium	19	42	$^{41}K(n.\gamma)\ ^{42}K$	12,4 h.	3,58 2,07	1,51
Calcium	20	45	$^{44}Ca(n.\gamma)\ ^{45}Ca$	152 jours	0,254	
Phosphore.....	15	32	$^{31}P(n.\gamma)\ ^{32}P$ $^{32}S(n.p)\ ^{32}P$	14,3 jours	1,69	
Soufre	16	35	$^{34}S(n.\gamma)\ ^{35}S$ $^{35}Cl(n.p)\ ^{35}Cl$	87,1 jours	0,168	
Chrome	24	51	$^{50}Cr(n.\gamma)\ ^{51}Cr$	26,5 jours		0,323 0,237
Fer	26	55	$^{54}Fe(n.\gamma)\ ^{55}Fe$	5 ans	capture *K*	
Fer	26	59	$^{58}Fe(n.\gamma)\ ^{59}Fe$	47 jours	0,46 0,26	1,3 1,1
Cobalt	27	60	$^{59}Co(n.\gamma)\ ^{60}Co$	5,3 ans	0,308	1,1715 1,3326
Cuivre	29	64	$^{63}Cu(n.\gamma)\ ^{64}Cu$	12,8 h.	0,571 0,657	1,2
Zinc	30	65	$^{64}Zn(n.\gamma)\ ^{65}Zn$	250 jours	K, e^- 0.32	1,118
Iode	53	131	$^{130}Te(n,\gamma)\ ^{131}Te$ $^{131}Te \xrightarrow{\beta^-} {}^{131}I$	8 jours	0,605 0,25	0,637 0,363 0,08

BIBLIOGRAPHIE

(1) M. Haissinsky. — *Jour. Chim. Phys.*, **47**, 11, 12, 957, 1950.
(2) G. Hevesy. — *Phys. Z.*, **16**, 52, 1915.
(3) H. Voge. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **59**, 2474, 1937 ; **61**, 1032, 1939.
(4) S. Ruben, G. Seaborg et J. Kennedy. — *Jour. Appl. Phys.*, **12**, 308, 1941.
(5) R. Thomson. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **70**, 1045, 1948.
C. Haenny et G. Rochat. — *Helv. Chim. Acta*, **32**, 2441, 1949.
(6) F. Juliusberger, B. Topley et J. Weiss. — *Jour. Chim. Phys.*, **3**, 437, 1935.
D. E. Hull, C. H. Shifflett et S. C. Lind. — *Jour. Amer. Chim. Soc.*, **58**, 535, 1936.
(7) F. A. Long et A. R. Olson. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **58**, 2214, 1936.
R. S. Halford. — *Ibid.*, **63**, 3233, 1940.
(8) A. V. Grosse et coll. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **57**, 591, 1935.
(9) S. Roginsky et N. Gopstein. — *Phys. Z. Sow. Union.*, **7**, 672, 1935.
R. Dodson et R. D. Fowler. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **61**, 1215, 1939.
(10) R. Muxart. — *C. R. Ac. Fr.*, **231**, 1489, 1950 ; *Thèse Doct. Un. Paris*, 1951.
(11) R. Daudel et M. Haissinsky. — *Bull. Soc. Chim. Fr. V.*, **14**, 556, 1947.
(12) W. Koskoski et R. D. Fowler. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **64**, 850, 1942.
(13) D. Ames et J. Willard. — *Nuc. Sci. Abst.*, **4**, 363, 1950.
(14) T. Norris. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **72**, 1220, 1950.
(15) J. Gryder et R. Dodson. — *Ibid.*, **71**, 1894, 1949.
J. Gryder. — *Trans. N. Y. Acad. Sci.*, **12**, 18, 1949.
(16) Sur ce sujet, on consultera un article de mise au point de S. May et coll. — *C. R. Acad. Fr.*, **236**, 286, 1953.
(17) D'après Seaborg. — *Chem. Rev.*, **27**, 199, 1940.
(18) W. Armstrong et J. Schubert. — *Science*, **106**, 403, 1947.
R. A. W. Haul, L. H. Stein et J. D. Low. — *Nature G. B.*, **167**, 4241, 1950.
(19) P. Magnier, A. Krounoff, M. Martin et P. Daudel. — *Bull. Soc. Chim. Fr.*, **14**, 626, 1947.
(20) R. Muxart, P. Daudel et B. Boscardin. — *Jour. Chim. Phys. Fr.*, **46**, 466, 1949.
(21) P. Nahinsky et S. Ruben. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **63**, 2275, 1941.
(22) Allen et S. Ruben. — *Ibid.*, **64**, 948, 1942.
(23) W. G. Dauben, J. Reid, F. Yankwich et M. Calvin. — *Ibid.*, **68**, 2117, 1946.
(24) A. R. Olson, C. W. Porter, F. A. Long et R. S. Halford. — *Ibid.*, **58**, 2467, 1936.
(25) A. R. Olson, R. S. Halford et Hornel. — *Ibid.*, **59**, 1613, 1937.
(26) MacMahon et Hine. — *Ibid.*, **71**, 1896, 1949.
On consultera aussi sur ce sujet :
T. M. Powel et E. B. Reid. — *Ibid.*, **67**, 1020, 1945.
T. D. Stewart et D. Harman. — *Ibid.*, **68**, 1135, 1946.
J. Turkewich et R. K. Smith. — *Nature*, **157**, 874, 1946.
O. Beeck et coll. — *Jour. Chem. Phys.*, **16**, 255, 1948 ; **16**, 993, 1948.
R. W. Blue et C. J. Engle. — *Ind. Engng. Chem. U. S. A.*, **43**, 494, 1951.
(27) W. Smith. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **71**, 4077, 1949.
(28) H. F. Pfann et coll. — *Ibid.*, **66**, 983, 1944.
(29) J. T. Kummer. — *Ibid.*, **70**, 3632, 1948.
(30) H. H. Storch. — *Information Circular*, 7518, U. S., Bureau of Mines 77.
(31) P. H. Emmett. — *The Oil and Gas. Jour.*, **9**, 82, 1951.
(32) J. Wilson et R. Dickinson. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **59**, 1358, 1937.
(33) H. Liebhafski. — *Jour. Phys. Chem.*, **35**, 1648, 1931.
(34) E. Buch-Andersen. — *Z. Phys. Chem. B.*, **32**, 237, 1936.
(35) D. P. Ames et J. E. Willard. — *Nuc. sci. Abstracts*, **4**, 363, 1950.
(36) A. E. Polesitski. — *C. R. Acad. U. R. S. S.*, **24**, 540, 1939.
R. Daudel. — *Jour. Chim. Phys. Fr.*, **41**, 49, 1944.
(37) A. A. Grunberg. — *C. R. Acad. U. R. S. S.*, **23**, 912, 1939.
(38) G. Hevesy et A. Obrutsheva. — *Nature*, May 9, 1925.
(39) Consulter un article général de M. Haïssinsky. — *Jour. Chim. Phys.*, **47**, 11/12, 957, 1950.
(40) M. Haïssinsky et D. Peschanski. — *Jour. Chim. Phys.*, **47**, 3/4, 191, 1950.

(41) D. Peschanski. — *Jour. Chim. Phys.* (sous presse).
(42) G. E. Boyd. — *Anal. Chem.*, **21,** 335, 1949.
(43) H. Brown et E. Golberg. — *Science*, **109,** 347, 1949.
(44) P. Daudel. — *Rev. Sci.*, **84,** 462, 1946.
(45) R. Walker. — *A. E. C. Declassified Document, M. D. D. C.*, 367, 1946.
(46) R. Ehrenberg. — *Biochemische Zeit.*, **164,** 183, 1925 ; **172,** 10, 1926 ; **183,** 63, 1927 ; **183,** 68, 1927 ; **197,** 467, 1928. *Microth. Pregl. Festsch.*, 61, 1929. *Emich. Festsch.*, 120, 1930. *Chemik. Zeit.*, **56,** 823, 1932.
(47) P. Sue. — *Bul. Soc. Chim. Fr. V.*, **13,** 103, 1946.
(48) P. Daudel. — *C. R. Acad. Fr.*, **220,** 658, 1945.
(49) H. Moureu, P. Chovin et R. Daudel. — *C. R. Acad. Fr.*, **219,** 127, 1944.
(50) D. Rittenberg et J. Foster. — *Jour. Biol. Chem.*, **133,** 737, 1940.
(51) P. Sue. — *Nature*, **157,** 622, 1946 ; *Bul. Soc. Chim. Fr. V.*, **14,** 405, 1947.
(52) Bloch et Anker. — *Science*, **107,** 228, 1948.
(53) N. S. Radin. — *Nucleonics*, **11,** 48, 1947.
(54) N. S. Radin. — *Ibid.*
Gest, Kamen et Reiner. — *Arch. Biochem.*, **12,** 273, 1947.
(55) F. Ferla. — *Ann. Chim. appl.*, **28,** 331, 1938.
(56) F. Ferla. — *Ibid.*
(57) O. Erbacher et K. Philip. — *Angew. Chem.*, **48,** 409, 1935.
(58) M. Ishibashi et H. Kishi. — *Jour. Chem. Soc. Japan.*, **57,** 1028, 1936 ; **59,** 700, 1938.
(59) I. M. Kolthoff et coll. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **59,** 1639, 1937 ; **61,** 3409, 1939 ; **61,** 3914, 1939 ; **62,** 2125, 1940.
(60) G. G. Joris et H. S. Taylor. — *Jour. Chem. Phys.*, **16,** 45, 1948.
(61) D. C. Grahame et G. T. Seaborg. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **60,** 2524, 1938.
R. W. Mason, C. F. Hiskey et R. Ward. — *Ibid.*, **71,** 509, 1949.
J. Prener. — *Ibid.*, **72,** 2692, 1950.
M. Haïssinsky et R. Bovy. — *Bull. Soc. Chim. Fr.*, **9/10,** 827, 1950.
(62) A. H. Aten. — *Anal. Chim. Acta*, **2,** 492, 1948.
(63) A. P. Schreiber. — *Nucleonics*, **2,** 1, 33, 1948.
(64) P. Daudel et M. Robillard. — Publication intérieure.
(65) Consulter H. Seligman. — *Chem. Indust. G. B.*, **35,** 724, 1951.
(66) S. Lissitzky et R. Michel. — *Bull. Soc. Chim. Fr.*, **9/10,** 891, 1952.
(67) J. Kayas. — *Jour. Chim. Phys.*, **47,** 5/6, 408, 1950.
(68) R. M. Fink, M. Dent et K. Fink. — *Nature*, **160,** 801, 1947.
(69) Consulter M. Calvin et coll. — *Isotopic Carbon.*, Wiley, N. Y., 1949 ; *Nucleonics*, **2,** 3, 40, 1948 ; *Jour. Chem. Educ.*, **26,** 639, 1949 ; *Photosynthesis in plants*, 1949.
(70) M. Martin et R. Daudel. — *C. R. Acad. Fr.*, **220,** 659, 1945.
(71) T. B. Winkler et J. Chipman. — *Metals Techn.*, **13,** 3, 1946.
(72) K. M. Goldman et L. C. Chang. — *Am. Inst. Min. Metals. Engng.*, 2367, 1948.
(73) S. E. Eaton, R. W. Hyde et B. S. Olds. — *Metals Techn.*, **15,** 7, 1948.
Little et Arthur. — *Ind. Bull.*, 242, 1948.
S. E. Eaton, R. W. Hyde et M. H. Kood. — *Anal. Chem.*, **21,** 1062, 1949.
(73 *bis*) T. A. Dickinson. — *Foundry. U. S. A.*, **79,** 10, 188, 1951.
P. L. Gruzin et coll. — *Dolk. Akad. Nauk. S. S. S. R.*, **80,** 1, 49, 1951.
(73 *ter*). F. Montariol, P. Albert et G. Chaudron. — *C. R. Acad. Sc. Fr.*, **235,** 7, 477, 1952.
(74) *Chem. and Engn. News*, **27,** 366, 1949.
(74 *bis*) J. Stanley. — *Metal Progress*, août 227, 1947.
(75) H. Faraggi, A. Kohn et J. Doumerc. — *C. R. Ac. Sc. Fr.*, **235,** 14, 714, 1952.
(76) Westermark et Erwall. — *Research. G. B.*, **4/6,** 290, 1951.
(76 *bis*) J. M. Swartout. — *Petrol. Engng. U. S. A.*, **22,** 4, C31, 1950.
(77) J. Bardeen et coll. — *Phys. Review*, **70,** 105, 1946 ; *Journ. Chem. Phys.*, **14,** 714, 1946.
(78) D. M. Brasher et E. R. Stove. — *Chem. Ind. G. B.*, **8,** 171, 1952.
(79) Ieyches. — *Silicates Industr. Fr.*, **17,** 7, 241, 1952.
(80) J. R. Johnson. — *Jour. Appl. Phys.*, **20,** 129, 1949.

(81) J. V. Fitzgerald. — *Glass Indust.*, **30**, 259, 1949.
K. M. Laing et coll. — *Jour. Amer. Cer. Soc.*, **34**, 12, 380, 1951.
A. O. Long et J. E. Willard. — *Indust. Engng. Chem. U. S. A.*, **44**, 4, 916, 1952.
(82) J. Bole. — *Jour. Appl. Phys.*, **14**, 443, 1943.
J. R. Johnson. — *Amer. Cer. Soc. Bull.*, **27**, 263, 1948 ; **29**, 16, 1950.
Harrison et coll. — *Jour. Amer. Cer. Soc.*, **35**, 5, 113, 1952.
(83) R. E. Fearon. — *Oil Weekly*, **118**, 1, 33, 1945 ; **118**, 2, 38, 1945.
A. P. Shreiber. — *Electronics*, **22**, 1, 90, 1949.
Pour une documentation plus précise, consulter :
P. H. Emmet. — *The Oil and Gas. Jour. U. S. A.*, **50**, 21, 82, 1951.
Anonyme. — *Petroleum. G. B.*, **15**, 3, 61, 1952.
(84) B. Buchdahl et M. F. Polgasse. — *Chem. Anal.*, **18**, 115, 1946.
(85) H. F. Peann, D. J. Salley et H. Mark. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **66**, 983, 1944.
Smith et Compbell. — *Jour. Chim. Phys.*, **15**, 338, 1947.
I. G. Grib. — *Phys. Rev.*, **74**, 117, 1948.
W. E. Mochel et J. H. Peterson. — *Jour. Amer. Chem. Soc.*, **71**, 1426, 1949.
A. D. Kirshenbaum, C. W. Hoffman et A. V. Grosse. — *Rubb. Age, U. S. A.*, **68**, 5, 563, 1951 ; **70**, 6, 755, 1952.
(86) B. W. Sakmann, J. T. Burwel et J. W. Irvine. — *Jour. Appl. Phys.*, **15**, 6, 459, 1944.
(87) G. N. Gregory. — *Nature*, **157**, 443, 1946.
J. T. Burwel. — *Nucleonics*, **1**, 4, 38, 1947.
(88) P. L. Pinotti, D. E. Hull et E. T. MacLaughlin. — *The Petroleum Engn.* **21**, 6, c 5 à c 8, 1949.
(89) J. T. Burwel et Murray. — *Nucleonics*, **6**, 1, 34, 1950.
(90) M. Ezran. — *C. R. Acad. Fr.*, **234**, 20, 1952.
(91) Urbain. — *Soudure Fr.*, **9/10**, 209, 1951.
(92) G. L. Clark, C. G. Gallo et B. H. Lincoln. — *Jour. Appl. Phys.*, **14**, 428, 1943.
(93) Blau et Carlin. — *Electronics*, **21**, 78, 1948.
K. Fearnside et E. N. Shaw. — *Paper. Mak. Paper. Sell. G. B.*, **2**, 19, 1949.
Anonyme. — *Papeterie Fr.*, **72**, 5, 251, 1950.
I. L. Berman et E. P. Ernest. — *Industr. Med. Sur. U. S. A.*, **19**, 5, 229, 1950.
Anonyme. — *Atomics G. B.*, **2**, 3, 71, 1951.
M. Aigrain. — *Industr. Text. Fr.*, **26**, 782, 1952.
Anonyme. — *Mesures Fr.*, **17**, 180, 295, 1952.
R. Hours. — *Indust. Plast. Mod. Fr.*, **4**, 1, 36, 1952.
J. D. Graves. — *Metal Progress U. S. A.*, **62**, 5, 94, 1952.
(94) J. W. Irvine. — *Anal. Chem.*, **21**, 364, 1949.
(95) E. G. Linder et S. M. Christian. — *Bull. A. Phys. Soc.*, **26**, 42, 1951 ; *Jour. Appl. Phys. U. S. A.*, **23**, 11, 1213, 1952.
(96) A. P. Schreiber. — *Nucleonics*, **2**, 33, 1948. Consulter (83/2).
(97) L. S. MacCaslin. — *Oil Gas. Jour.*, **46**, 25, 100, 1947.
(98) MacCutcheon. — *Amer. Foundry Man.*, 6, 1949.
(99) O. J. Smith. — *Electronics*, **20**, 106, 1947.
M. Clarke et J. R. Carlin. — *Electr. Engng.*, **70**, 1, 35, 1951.
Anonyme. — *Jour. Franklin Inst. U. S. A.*, **252**, 4, 296, 1951.
(100) K. Fearnside. — Consulter (93/2).
Consulter (93/3).
Consulter (99/3).
Herminghaus. — *Farbe Lack. Dtsch.*, **57**, 11, 497, 1951.
Consulter (92/8).
W. Sandermann. — *Holz. roh. Werkst. Dtsch.*, **10**, 3, 81, 1952.
G. J. Leighton. — *Electronics U. S. A.*, **25**, 12, 112, 1952.
J. Oehmichen. — *Ing. Tech. Fr.*, **49**, 13, 1952.
Anonyme. — *Iron Age U. S. A.*, **169**, 25, 1952.
(101) Consulter (93/3).
(102) R. D. Evans. — *Chem. and Engng. News*, **25**, 2980, 1947.
Consulter (99/2).
(103) *The Oil and Gas Jour.*, **44**, 8, 106, 1945.

(104) M. Blau et J. R. Carlin. — *Electronics*, **21,** 78, 1948.
(105) Feuer. — *Anal. Chem.*, **20,** 1231, 1948.
(106) Consulter (83/2).
(107) Consulter (96/1).
(108) Consulter (94/1).
(109) Consulter (83/2).
(110) Consulter (96/1).
(111) C. Goodmam et coll. — *Jour. Ind. Hyg. Toxicol.*, **25,** 275, 1943.
J. W. Irvine. — *Jour. Appl. Phys.*, 496, 1943.
(112) Consulter (93/8).
(113) D. E. Hull, J. W. Kent et R. D. Lee. — *Oil World*, **129,** 1, 187, 1949.
(114) Consulter (96/1).
D. E. Hull et J. W. Kent. — *Ind. Engng. Chem. U. S. A.*, **44,** 11, 2748, 1952.
(115) A. Gemont, E. Hines et E. L. Alexanderson. — *Jour. Appl. Phys. U. S. A.*, **22,** 4, 460, 1951.
(116) J. Guéron. — *Nucleonics U. S. A.*, **9,** 5, 53, 1951.
(117) K. Kaindl et A. Mathiaschitz. — *Werkstoffe Korros Dtsch.*, **2,** 10, 368, 1951.
(118) Consulter (96/1).

ARTICLES GÉNÉRAUX COMPLÉMENTAIRES SUR LES APPLICATIONS DES ISOTOPES RADIOACTIFS A L'INDUSTRIE

H. S. Taylor. — Isotopes in chemistry and metallurgy. *Metal Progress*, **49,** 1207, 1946.
C. A. Thomas. — Radioisotopes. New Tools for Science. *Chem. and Engng. News*, **25,** 1572, 1947.
Anonyme. — Business in Isotopes. *Fortune*, **36,** 121, 1947.
H. Seligman. — Applications des Isotopes radioactifs dans l'industrie. *Chem. Industr. G. B.*, **20,** 311, 1948.
C. E. Birchenall et W. O. Philbrook. — Emploi des isotopes radioactifs en métallurgie. *Iron Age U. S. A.*, **164,** 19, 77, 1949.
H. Neuert. — Emploi des isotopes radioactifs comme indicateurs. *Arch. Tech. Messen. Dtsch.*, **163,** V62, 1949.
I. Zlotowski. — Les isotopes stables et radioactifs dans la science et la technique. *Koczn. Chem. Polska*, **23,** 2/3, 186, 1949.
A. J. Swallow. — Radioisotopes in industry. *Indust. Chem. G. B.*, **26,** 306, 297, 1950.
K. Fearnside. — Use of radioisotopes in british industry. *Nucleonics U. S. A.*, **7,** 2, 84, 1950.
H. D. Taylor. — Les isotopes radioactifs dans la recherche chimique et industrielle. *Brit. Coal. Utilis. Res. Ass. Month. Bull.*, **14,** 8, 293, 1950.
J. Massinon et M. D. E. Jonckers. — Application des radioisotopes en métallurgie. *Soc. r. Belg. Ingrs. Ind. Mémoires*, **3,** 129, 1950.
Les traceurs radioactifs dans la recherche en métallurgie. London H. M. Stationnery Office 20 × 12,5, 55 p., 1950 (Ministry of Supply A.E.R.E.).
C. Rozenblum. — What radioisotopes can mean to industry ? *Nucleonics U. S. A.*, **6,** 4, 25, 1950.
Anonyme. — Isotopes in industry. *Atomics G. B.*, **1,** 12, 216, 1950.
H. Seligman. — The application of isotopes in chemical industry. *Chem. Industry G. B.*, **35,** 724, 1951.
Anonyme. — Radioisotopes in industry. — *Chem. Age*, **64,** 1661, 735, 1951.
J. E. Johnston. — The use of radioisotopes in industry. *Jour. Brit. Inst. Radio Engng.*, **11,** 7, 279, 1951.
J. Guéron. — Some industrial applications of radioisotopes made at C.E.A. *Nucleonics U. S. A.*, **9,** 5, 53, 1951.
J. L. Putman. — Some industrial uses of radioisotopes. *Coke gas. G. B.*, **13,** 149, 365, 1951 ; *Metal Indust. G. B.*, **79,** 25, 585, 1951.
Anonyme. — Radioactives isotopes in industry. *Atomics G. B.*, **2,** 2, 39, 1951 ; **2,** 12, 329, 1951.
G. H. Guest. — Review of tracer technique in metallurgy. *Metal Progress. U. S. A.*, **59,** 3, 366, 1951.

G. H. Guest. — Radioisotopes. Pitman and Sons, 1951.
Holgate. — Radioactives materials in industry metallurgy. *Metallurgia G. B.*, **44**, 264, 179, 1951.
P. H. Emmet. — Radioisotopes. *Oil Gas U. S. A.*, **50**, 21, 82, 1951.
E. Kruse. — L'importance des radioisotopes dans l'industrie. *Chem. Ing. Technick. Dtsch.*, **24**, 1, 45, 1952.
A. Robson. — Radioactives tracers techniques and their applications in industry. *J. Soc. Dyers Colourists G. B.*, **68**, 1, 7, 1952.
J. L. Putman. — Industrial uses of radioisotopes. *Research G. B.*, **5**, 8, 368, 1952. Radioactive isotopes in industry. *Chem. Indust. G. B.*, **14**, 299, 1952 ; *Chem. Engng. News U. S. A.*, **30**, 17, 1791, 1952.
L. van Ouverkerk. — La série E.C.A. des essais non destructifs. Les isotopes radioactifs et leurs applications. *Metalen. Nederl.*, **7**, 5, 80, 1952, 7, 7, 122, 1952.
H. Gotte. — Possibilités d'emploi des isotopes radioactifs dans la chimie et la technique. *Chem. Ingr. Tech. Dtsch.*, **24**, 4, 204, 1952.
G. H. Guest. — Radioisotopes aid Metallurgy. *Canad. Metals*, **15**, 2, 16, 1952.
P. Léveque. — Applications industrielles des radioéléments. *Electricité Fr.*, **36**, 184, 119, 1952.
M. E. Merchant. — Atomic energy in industry. *Metal Progress. U. S. A.*, **62**, 6, 138, 1952.
K. Fearnside. — The industrial uses of radioactive materials. *Chem. Indust. G. B.*, **38**, 920, 1952.
Anonyme. — Energie atomique. *Chim. Industr. Fr.*, **64**, 4, 603, 1952.
E. A. von Frommhold. — Radioactivité et rayons X dans la science et la technique. *Technik. Dtsch.*, **7**, 9, 545, 1952.
W. Sandermann. — La méthode des traceurs radioactifs dans l'étude des bois et la technique du bois. *Holz. Roh. Werkst. Dtsch.*, **10**, 3, 81, 1952.
L. R. Thiesmeyer. — Atomic energy and paper. *Paper mill. News U. S. A.*, **75**, 8, 66, 1952.
Anonyme. — Radioactive isotopes in petroleum research. *Petroleum G. B.*, **15**, 3, 61, 1952.
C. E. Crompton. — Radioisotope techniques. *Text. Recorder G. B.*, **69**, 827, 1952.
M. Ezran. — Les radioisotopes en mécanique. *Rev. Gén. Méc. Fr.*, **48**, 381, 1952.

QUELQUES ARTICLES GÉNÉRAUX SUR LA MÉTALLOGRAPHIE A L'AIDE DES RAYONS GAMMA

Pour les années antérieures à 1950, consulter : P. Sue. — *Dix ans d'application de la radioactivité artificielle.* Société d'Editions Scientifiques. Paris, 1948.

G. H. Guest. — *Radioisotopes.* Pitman and Sons, 1951.
W. Czygan. — Emploi de 60Co pour la radiographie des pièces. *Iron Age U. S. A.*, **166**, 8, 68, 1950.
A. Morrison. — Détermination de la durée d'exposition pour la radiographie de l'acier au moyen de 60Co. *Metal Progress. U. S. A.*, **58**, 1, 80B, 1950.
J. Ternisien. — La radiométallographie gamma. *Microtecnic Suisse*, **4**, 5, 269, 1950 ; **4**, 6, 321, 1950.
Anonyme. — Gamma radiography. *Atomics G. B.*, **1**, 9, 108, 1950.
A. Gobus. — Gamma-ray tests of pipe welds. *Combustion U. S. A.*, **22**, 12, 45, 1951.
J. C. Pennock. — Cobalt 60 in the foundry. *Amer. Foundryman*, **21**, 1, 60, 1952.
H. Manley. — Gamma radiography progress in non destructive testing. *Chem. Age G. B.*, **67**, 1744, 795, 1952.
Anonyme. — Cobalt 60 industrial radiography. *Tracerlog U. S. A.*, **43**, 8, 1952.
M. Falk. — Some applications of gamma radiography techniques. *Atomics G. B.*, **3**, 10, 1952.
A. Blondel. — Le contrôle des pièces de fonderie au moyen des rayons gamma. *Fonderie Fr.*, **76**, 2938, 1952.

Les problèmes de diagnostic et l'axiomatique des informations [1]

par P. SCHÜTZENBERGER

Le problème de la définition rigoureuse de l'information s'est posé aux physiciens et aux géomètres depuis le jour où des considérations d'ordre technologique ont fourni une base concrète à l'évaluation simultanée de sa valeur et du coût de son acquisition. Ainsi, en statistique, comme dans le domaine des télécommunications est apparu le besoin de chiffrer l'efficacité relative des procédures ou des appareillages et pour cela d'introduire une certaine quantité nouvelle « l'information » jouant, dans ces problèmes, un rôle analogue à celui de l'énergie dans les sciences développées à partir de la construction des machines.

D'autre part, dans la logique, dans certains chapitres de la physique théorique, etc..., on avait cherché également à définir certaines « informations » et peut-être près d'une dizaine de concepts différents portant ce nom peuvent être recensés dans la littérature. Sans méconnaître les mérites propres de ces diverses approches, nous essayerons ici une synthèse provisoire qui rassemble certains d'entre eux sous une axiomatique unique, à la fois formelle et pragmatique : formelle, parce que nous chercherons selon un mouvement classique dans les sciences de la nature non point tant ce qu'est l'information, qu'une expression analytique susceptible d'en exprimer les variations tout en satisfaisant à des critères abstraits d'additivité ou de commutativité ; pragmatique en ce sens que nous postulerons ceci : l'information ne peut être définie que relativement à une décision à prendre, à un but à atteindre et que notre objectif sera en définitive « des informations ».

***

Fixons d'abord les conditions dans lesquelles il y aura pour nous *changement d'information* : essentiellement quand un observateur O, en présence d'un système physique dont l'état ξ lui est inconnu, effectue une observation qui élimine diverses possibilités qui existaient *a priori*.

---

(1) Les mots *information*, *diagnostic*, ont beaucoup dépassé le sens qui leur est attribué dans la vie courante : ce qu'indique, d'ailleurs, la première section du présent article, dont le thème est inséparable d'une étude de M. Benoît Mandelbrot, qui paraîtra bientôt.

Les connaissances que O possède sur ξ, nous supposerons qu'elles peuvent être réduites à une distribution de probabilités *a priori*, chacun des états possibles X_1, X_2, ... X_n ayant une probabilité $P(X_1)$, $P(X_2)$, $P(X_n)$ d'être l'état inconnu de ξ.

Naturellement, il serait tout à fait concevable *in abstracto* que ξ fut susceptible de prendre un état non pas dans un ensemble discret, mais sur un continuum uni ou multi-dimensionnel ; c'est ce qui paraît légitime quand ξ est une mesure. De fait, la restriction que nous nous imposons en quantifiant ξ est assez peu importante, car en définitive toute mesure n'est jamais effectuée qu'avec une précision finie et nous pouvons donc toujours supposer qu'il existe une partition discrète $(X_1 ; X_2 ; X_3 ; ... X_n)$ de l'intervalle de variation de la variable considérée.

La seconde restriction, que ξ soit une aléatoire, est plus fondamentale et écarte malheureusement le cas important où ξ s'obtiendrait non pas par une mesure, mais par un calcul ou par un raisonnement, à moins que par un artifice l'on ne parvienne à réintroduire les probabilités. Notons, cependant, que nous n'exigeons pas que les $P_r(X_i)$ soient entièrement spécifiés : il est parfaitement possible et c'est là d'ailleurs le cas le plus intéressant, que dans leur expression interviennent des paramètres non aléatoires encore qu'inconnus. Nous symboliserons ceux-ci par θ.

D'autre part, l'observateur a un but à atteindre pour lequel la détermination de ξ n'est qu'un moyen.

Par exemple, selon les trois cas classiques :

— O cherche à estimer la valeur de θ ;

— O veut savoir si θ est ou non contenu dans un certain intervalle (ξ_0, ξ_1) (problèmes de test d'hypothèse) ;

— O veut savoir si θ est ou non dans un certain sous-ensemble Ξ des (X) (problèmes de tri).

Dans tous les cas, il lui est donc indifférent, du point de vue du « gain » qu'il réalise en effectuant ses observations que ξ soit un état ou un autre du moment qu'une certaine fonction donnée *a priori* de ces états a la même valeur.

Pour chaque situation concrète, il existe une *relation d'équivalence* (exactement *une projection*) entre les états X_i.

A la base se trouve évidemment le problème plus simple où l'objectif à atteindre est simplement la détermination de ξ : c'est le cas limite commun à tous les autres et celui qui se rencontre en théorie des communications en l'absence de bruit : nous l'appelerons le *problème de diagnostic*, selon une terminologie que nous avons introduite avec M. Ville.

Venons-en maintenant au mécanisme même des observations : *a priori*, on pourrait considérer des observations quelconques dont chacune aurait pour seul effet de changer les $Pr(X_i)$. Pour des raisons

de simplicité, on se bornera cependant à considérer des suites d'observations constituant des « diagnostics séquentiels ».

En empruntant aux systématiciens — botanistes ou zoologistes — leur notation par clefs dichotomiques nous pourrions, par exemple, représenter ainsi deux procédures typiques pour le diagnostic séquentiel de ξ entre les cinq états X_1, X_2 ... X_5.

Procédure I

$$\left.\begin{array}{l} \text{si } \xi\varepsilon X_1 + X_2 \\ 2^{e} \text{ observation} \\ \xi = X_1 \text{ ou } \xi = X_1 \end{array}\right\} \begin{array}{l} \xi = X_1 \\ \\ \xi = X_2 \end{array}$$

$$1^{re} \text{ observation } \xi\varepsilon X_1 + X_2 \text{ ou } \xi\varepsilon X_3 + X_4 + X_5 \left\{\begin{array}{l} \text{si } \xi\varepsilon X_3 + X_4 + X_5 \\ 2^{e} \text{ observation} \\ \xi = X_3 \text{ ou } \xi\varepsilon X_3 + X_4 \end{array}\right. \left\{\begin{array}{l} \xi = X_3 \\ \text{si } \xi\varepsilon X_3 + X_4 \\ 3^{e} \text{ observation} \end{array}\right. \left\{\begin{array}{l} \xi = X_4 \\ \xi = X_5 \end{array}\right.$$

Procédure II

$$1^{re} \text{ observation} \left\{\begin{array}{l} \xi = X_1 \\ \text{si } \xi \neq X_1 \\ 2^{e} \text{ observation} \end{array}\right. \left\{\begin{array}{l} \xi = X_2 \\ \text{si } \xi \neq X_2 \\ 3^{e} \text{ observation} \end{array}\right. \left\{\begin{array}{l} \xi = X_3 \\ \text{si } \xi \neq X_3 \\ 4^{e} \text{ observation} \end{array}\right. \left\{\begin{array}{l} \xi = X_4 \\ \xi = X_5 \end{array}\right.$$

Il est clair que si les probabilités *a priori* de X_1, X_2, ... X_5 étaient respectivement 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 et 1/16, la procédure II serait préférable puisqu'elle n'entraînerait en moyenne que $1/2 + 2 \times 1/4 + 3 \times 1/8 + 4 \times (1/16 + 1/16) = 15/8$ observations contre $2 \times (1/2 + 1/4) + 2 \times 1/8 + 3 \times (1/16 + 1/16) = 17/8$ observations pour la première procédure.

Nous postulerons :

A chaque observation est attachée une partition de l'ensemble des X_i en plusieurs sous-ensembles disjoints et l'observation nous apprend quel est celui d'entre eux qui contient ξ (*). L'effet sur les $Pr(X_i)$ est donc particulièrement simple : $Pr(X_i)$ devient zéro ou est multiplié par un coefficient qui normalise les probabilités des états encore possibles après l'observation.

Nous sommes en mesure maintenant de définir ce que nous appellerons une « quantité d'information » : à une observation à laquelle

(*) Par exemple : la première observation de la procédure I correspond à la partition $(X_1 + X_2)(X_3 + X_4 + X_5)$. La deuxième observation de la procédure II correspond à $(X_2)(X_3 + X_4 + X_5)$, etc...

est attachée une partition (X) (Y) ... (Z), nous ferons correspondre « l'information » H(X, Y, ... Z) qui est une fonctionnelle continue et symétrique des probabilités Pr(X), Pr(Y), ... Pr(Z) satisfaisant à l'axiome unique d'associativité suivant :

Axiome : si $\xi \in X + Y + Z$ et si X, Y et Z sont disjoints, on a identiquement :

$$A : H(X, Y + Z) + Pr(Y + Z)\, H(Y, Z) = H(X, Y, Z)$$

La signification de cet axiome est immédiate si l'on interprète H comme un coût : il revient à postuler que le coût moyen du diagnostic de ξ entre X, Y et Z est exprimable en fonction du coût des deux observations dichotomiques ((X) (Y + Z)) et ((Y) (Z)) d'une façon qui — en raison de la symétrie — ne dépend pas du choix de ces dichotomies : ou si l'on veut, que les trois schémas suivants ont le même coût :

Procédure (1)	Procédure (2)	Procédure (3)
$\xi = X$	$\xi = Y$	$\xi = Z$
$\xi \in Y + Z$: $\xi = Y$	$\xi \in X + Z$: $\xi = X$	$\xi \in X + Y$: $\xi = X$
$\xi = Z$	$\xi = Z$	$\xi = Y$

L'axiome est donc tout aussi bien un *axiome de commutativité* ou encore *de linéarité de la combinaison des coûts.*

Il ne saurait entrer dans notre propos de dériver de l'équation précédente la forme générale de H par un raisonnement rigoureux et nous nous bornerons à indiquer que celui-ci se ferait en deux étapes successives :

1. H est une somme de termes de la forme

$$h(X) + h(Y) + h(Z) - h(X + Y + Z)$$

où *h* est une certaine fonctionnelle qui

2. a la forme particulière :

$$Pr(X)\ D\ \mathrm{Log}\ Pr(X)$$

où D symbolise un opérateur linéaire quelconque.

On aura donc pour valeur de l'information attachée à la partition $X_1, X_2, \ldots$:

$$\Sigma\ P(X_i)\ D\ \mathrm{Log}\ P(X_i)$$

Considérons maintenant les trois cas classiques.

Si D est une constante, H, au signe près, est l'entropie attachée à la distribution *a priori* de ξ. Un théorème fondamental montre alors que pour effectuer le diagnostic complet de π, il faudra en moyenne un nombre d'observations dichotomiques qui ne saurait être inférieur à C^{te}/H, quelle que soit la procédure employée.

Si les P(X) dépendent d'un paramètre inconnu et que nous cherchions à estimer la valeur de celui-ci au moyen d'un échantillon contenant n valeurs indépendantes de ξ, la précision de notre estimation (exprimée par sa variance) ne peut pas être inférieure à C^{te}/F où F est l'information correspondant à l'opérateur $D = -\frac{\partial^2}{\partial\theta^2}$: c'est le théorème de Frechet-Darmois.

Si, dans les mêmes conditions, nous voulons seulement savoir si le paramètre θ est ou non compris dans un certain intervalle (θ_0, θ_1) et ceci avec des probabilités d'erreur fixées *a priori*, il existe encore une information qui livre une borne inférieure au nombre minimum moyen d'observations qui doivent être effectuées.

Or, si les deux derniers problèmes, l'estimation d'un paramètre inconnu et le test d'une hypothèse, constituent en quelque sorte l'essentiel de la statistique mathématique, le premier problème, au contraire, appartient à un chapitre distinct du calcul des probabilités la théorie des communications. Ainsi donc, l'information telle qu'elle a été introduite ici semble destinée à jouer un rôle unificateur malgré — ou peut-être à cause — du caractère formel de sa définition.

P. Schützenberger

LES LIVRES REÇUS

BASSE DE MENORVAL (Eliane). — Les Fossiles (Coll. Que sais-je ? Presses Universitaires, Paris).

BISANTI (A.) — Etude des couplages et du décalage de phase des transformateurs (Eyrolles, Paris), 500 francs.

BRUN (Edmond-A.). — Introduction à l'étude de la couche limite (Gauthier-Villars, Paris), 1.500 francs.

BOUTROUX (Pierre). — L'idéal scientifique des mathématiciens (Presses Universitaires, Paris), 800 francs.

BURGESS (Eric). — Frontier to Space (Chapman & Hall, Londres), 21/—.

CONTURIE (L.). — L'acoustique dans les bâtiments (Eyrolles, Paris). 1.600 fr.

DAVID (P.). — Cours de radioélectricité générale : propagation des ondes (Eyrolles, Paris), 1.900 francs.

DALMAT (Herbert T.). — The black Flies (Diptera, Simuliidae) of Guatemala and their role as vectors of Onchocerciasis (Smithsonian Institution, Washington).

DOIGNON (Pierre). — Flore des mousses de la plaine française (Ass. des Naturalistes de la vallée du Loing).

DUCLAUX (J.) — Traité de Chimie-Physique. XVII. Centrifuges et ultracentrifuges (Hermann & Cie, Paris), 800 francs.

DUGAST (Idelette). — Monographie de la tribu des Ndiki (Banen du Cameroun) (Institut d'Ethnologie, Paris), 4.000 francs.

ESSIG (Jean). — Douze, notre futur dix (Dunod, Paris).

FEYLING-HANSSEN (Rolf-W.) — Statigraphy of the marine late-pleistocene of Billefjorden, Vestspitsbergen (Norsk Polarinstitutt, Oslo), 22 couronnes.

FLEURY (P.) et **MATHIEU (J.-P.).** — Vibrations, mécanique, acoustique (Eyrolles, Paris), 3.000 francs relié.

(Voir suite, p. 247).

Albert EINSTEIN

1879-1955

par Gérard PETIAU

Le monde entier a appris avec émotion le décès à Princeton, le 18 avril 1955, du grand physicien Albert Einstein.

Par ses travaux dont l'influence a déterminé l'évolution de la physique, par ses interventions dans les problèmes de l'actualité politique internationale où il rappelait sans cesse les droits et les devoirs des hommes de science devant les gouvernements et l'humanité, Albert Einstein s'est montré l'une des plus grandes figures d'homme et de savant du vingtième siècle. La presse, les grands corps savants, les groupements d'intellectuels lui ont rendu hommage et rappelé sa figure, ses idées scientifiques, philosophiques et morales.

Retracer la vie et l'œuvre d'Albert Einstein, c'est retracer l'histoire de la physique depuis cinquante ans. En effet, cette période a vu naître et se développer deux grandes théories : la relativité et les quanta. Toute l'évolution de ces deux théories est marquée par des travaux d'Albert Einstein.

La théorie de la relativité sous sa forme dite restreinte, issu des travaux de H.-A. Lorentz et de Henri Poincaré, n'a pris sa forme définitive et harmonieuse de grande théorie physique qu'après qu'Einstein eût montré qu'elle résultait de la nature même du cadre spatio-temporel dans lequel se produisent les phénomènes de la physique. A partir de la relativité restreinte, par des élargissements successifs, Einstein est arrivé en 1916 à la relativité générale, rattachant l'existence des phénomènes de gravitation à la structure géométrique de l'espace-temps. Des généralisations plus hardies encore l'ont conduit ensuite à proposer des formes de plus en plus élaborées de théories unitaires de l'électromagnétisme et de la gravitation, cherchant à préciser la nature mathématique d'une représentation du cadre spatio-temporel de laquelle l'ensemble des lois physiques se déduirait par nécessité. Ses recherches dans cette voie ont abouti dans ces dernières années à une théorie dont le contenu physique est remarquable et que de nombreux savants développent actuellement.

Dans le domaine de la théorie des quanta, l'œuvre d'Einstein est aussi importante. Il suffit de citer la loi d'Einstein pour l'effet photoélectrique, les lois d'Einstein pour l'émission et l'absorption de la lumière, la statistique de Bose-Einstein pour rappeler l'importance de ces travaux.

Albert Einstein est né à Ulm, en Wurtemberg, le 14 mars 1879, mais sa famille s'établit à Munich un an après. Son père, Hermann Einstein, exploitait avec l'aide de son frère une petite usine électrochimique. Bien que d'origine israélite, Albert Einstein fréquenta à Munich l'école primaire catholique, puis à partir de dix ans le Luitpold Gymnasium qu'il quitta vers quinze ans pour suivre quelque temps son père en Italie. Après une année d'études à l'école cantonale d'Aarau, il entra à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich où il suivit notamment l'enseignement mathématique de H. Minkowski. En 1901, Einstein, devenu citoyen suisse, chercha une situation. C'est alors qu'il entra comme examinateur des inventions au bureau des brevets de Berne. Il épousa peu après sa camarade d'études au Polytechnicum, Mileva Maritsch, d'origine serbe, et eut bientôt deux enfants.

S'intéressant à la physique et à la philosophie, Einstein reprit en 1902 la théorie de Boltzmann sur le mouvement Brownien. La physique était alors en pleine évolution à la suite des travaux de H.A. Lorentz, de Henri Poincaré et de Max Planck. La série de mémoires que publia Einstein en 1905 sur la relativité, l'effet photoélectrique, le mouvement brownien attirèrent sur lui l'attention du monde savant. A. Einstein fut alors nommé privatdozent à l'université de Berne et, en 1909, professeur extraordinaire à l'université de Zurich. En 1910, la chaire de physique théorique à l'université de Prague devint vacante et fut offerte à Einstein. A Zurich et à Prague Einstein étudia de nombreux problèmes posés par la théorie de la relativité restreinte cherchant notamment à expliquer l'origine des forces de gravitation. Il montra ainsi dès 1911 la possibilité d'une influence de la gravitation sur la propagation de la lumière. A. Einstein quitta en 1912 l'université de Prague pour revenir à l'Ecole polytechnique de Zurich comme professeur de physique théorique. Mais Planck et Nernst lui demandèrent de venir comme professeur à l'institut Kaiser Wilhelm de Berlin qui venait d'être fondé. Einstein accepta cette offre et abandonna Zurich pour Berlin à la fin de 1913. Il devait rester dans cette ville jusqu'en 1933. Membre de l'Académie des sciences de Prusse, Einstein publia dans les Sitzungberichte de cette académie un grand nombre d'importants mémoires. Ayant gardé la nationalité suisse, il put rester en dehors de la guerre et poursuivre ses travaux. Ceux-ci devaient notamment aboutir en 1916 à la théorie de la relativité générale.

Séparé de sa première femme, A. Einstein retrouva à Berlin sa cousine Elsa qu'il épousa à la fin de la guerre.

Le succès de la relativité générale rendit célèbre la personnalité d'Albert Einstein et peu à peu il fut conduit à prendre position sur les grands problèmes politiques de l'après-guerre. C'est ainsi qu'à partir de 1921, il accorda publiquement son

appui au sionisme et aux mouvements pacifistes. Le 10 novembre 1922, le comité de l'Académie suédoise des sciences décernait à Albert Einstein le prix Nobel de physique. Le prix lui fut accordé non pour la théorie de la relativité qui constituait un principe plutôt qu'une découverte faisant apparaître de nouveaux phénomènes, mais pour la découverte en 1905 des lois de l'effet photoélectrique.

En 1924, après une série de voyages à l'étranger, A. Einstein se fixait de nouveau à Berlin où il continuait ses recherches sur les généralisations de la relativité en cherchant à établir une théorie unitaire des champs électromagnétiques et gravifiques. Mais bientôt le fanatisme nationaliste et l'agitation politique qui devait aboutir au nazisme commençaient à se développer en Allemagne. L'attitude pacifiste, antimilitariste et libérale d'Einstein était trop en contradiction avec le national-socialisme de Hitler pour ne pas susciter des manifestations d'hostilité envers lui de plus en plus violentes.

Devant les vexations policières, les menaces et les faiblesses de ses collègues vis-à-vis du pouvoir politique, Einstein démissionna de l'Académie prussienne puis décida au printemps de 1933 de s'expatrier. Le Collège de France lui offrit une chaire, mais finalement Einstein accepta l'offre qui lui avait été faite dès 1932 d'aller poursuivre ses travaux à l'Institute for advanced study de Princeton. Il y reprit ses recherches sur la théorie unitaire des champs avec la collaboration de L. Infeld, de N. Rosen, d'E.-G. Strauss, de P. Bergmann et de V. Bargmann.

La découverte de la fission du noyau d'uranium en 1938 laissait prévoir les possibilités d'utilisation de l'énergie libérée dans le conflit général qui s'annonçait. Ce fut Einstein qui, le 2 août 1939, dans une lettre au président Roosevelt, lui signala les travaux de E. Fermi et de L. Szilard et la possibilité d'utiliser dans un avenir immédiat l'énergie libérable dans la fission de l'uranium à la réalisation d'une bombe d'un type nouveau aux effets destructeurs considérables. Ce fut l'origine du « Manhattan Project » qui devait conduire à la défaite du Japon et à la fin de la guerre.

Mais A. Einstein ressentit ensuite pleinement le danger que pouvait faire courir à l'humanité l'utilisation inconsidérée des explosifs nucléaires. Cherchant à obtenir le contrôle des armements atomiques, Einstein appuya vivement les partisans de l'organisation d'un gouvernement mondial. Malgré la pression d'une opinion publique aux passions exaltées par une presse sans responsabilités, Einstein n'a cessé de militer les dernières années de sa vie pour que les gouvernements comprennent la

menace que constituerait une guerre atomique pour l'existence même de toute l'humanité (1).

L'œuvre d'Albert Einstein se partage presque également entre la théorie de la relativité et la théorie des quanta et les travaux qu'il a publiés sur ces deux théories sont également fondamentaux.

Après plusieurs articles sur les fondements de la thermodynamique et sur la mécanique statistique publiés de 1901 à 1904, Einstein publia dans les *Annalen der Physik* de 1905 et 1906 une série de mémoires qui apportaient des résultats d'une importance capitale.

Deux mémoires (2) énonçaient sous forme explicite les lois de l'effet photoélectrique et réintroduisaient en physique l'aspect corpusculaire de la lumière en lui associant les quanta d'énergie que Max Planck venait d'introduire pour expliquer la loi de répartition de l'énergie dans le spectre du rayonnement du corps noir. La loi qu'Einstein a alors énoncée (et à laquelle on a donné son nom) est d'une étonnante simplicité. Elle fut vérifiée expérimentalement par O.-W. Richardson et K.-T. Compton en 1912, puis avec une très grande précision par R.A. Millikan en 1916. Ce fut pour ce travail que le prix Nobel fut décerné à Einstein en 1922.

Dans trois mémoires (3), Einstein étudiait la théorie du mouvement brownien et en établissait les lois: il donnait notamment la théorie du mouvement brownien de rotation. Les formules établies par Einstein furent vérifiées peu après, notamment dans les magnifiques expériences de Jean Perrin (4).

Deux mémoires apportaient les résultats fondamentaux de la théorie de la relativité restreinte. Dans le premier (5), Einstein examinait à la suite de H.A. Lorentz et de Henri

---

(1) « Nous ne pouvons cesser d'avertir encore et toujours, nous ne pouvons relâcher nos efforts pour rendre les nations du monde et surtout leurs gouvernements conscients du désastre inouï qu'ils sont sûrs de provoquer s'ils ne changent pas leur attitude les uns envers les autres et leur manière de concevoir l'avenir. »

(2) Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtpunkt (t. 17, p. 132-148) : Theorie der Lichterzeugung und Lichtabsorption (t. 20, p. 199-206).

(3) Ann. d. Phys., sér. 4, t. 17, p. 549-560 (1905), t. 19, p. 289-306 et p. 371-381 (1906), mémoires reproduits avec des notes de R. Furth dans A. Einstein : Untersuchungen über die Theorie der Brownschen Bewegungen, Leipzig, 1922, traduction anglaise : Investigations on the theory of the brownian movement, London, 1926.

(4) Comptes rendus de l'Ac. des Sc., t. 146, 1908, p. 96, t. 149, 1909, p. 349 ; Annales de Chimie physique, t. 18, 1909, p. 1-144 ; œuvres de J. Perrin, p. 171-239.

(5) Elektrodynamik bewegter Körper, Ann. d. Phys., sér. 4, t. 17, p. 891-921. Reproduit notamment dans « Sur l'électrodynamique des corps en mouvement » (trad. M. Solovine), (Gauthier-Villars, 1925).

Poincaré, mais indépendamment de leurs travaux, les principes de l'électrodynamique. Partant d'une définition de la simultanéité et du principe de l'invariance de la vitesse de la lumière. il établissait les lois de la mécanique de la relativité restreinte par une interprétation nouvelle des formules de la transformation de Lorentz. Celles-ci n'étaient plus des relations mathématiques commodes pour l'étude de l'électrodynamique, mais manifestaient l'existence d'une liaison physique réelle entre les mesures sur les coordonnées d'espace et de temps effectuées par un observateur galiléen.

Dans le second mémoire (6), Einstein énonçait à titre d'hypothèse la loi d'équivalence entre masse et énergie en disant : « Si un corps perd une certaine quantité d'énergie L sous forme de rayonnement, sa masse diminue de L/C^2 » (C vitesse de la lumière), et plus loin : « La masse d'un corps est une mesure de son contenu énergétique : si l'énergie change de L, la masse varie dans le même sens de $L/9 \times 10^{20}$, l'énergie étant mesurée en ergs et la masse en grammes. »

Einstein devait reprendre cette idée et la développer quelques années plus tard (7) en l'appliquant notamment dans l'étude des phénomènes de radioactivité.

Dans les années suivantes, Einstein poursuit ses travaux simultanément sur la théorie des quanta et la relativité. En décembre 1906 (8), il applique les méthodes de ses mémoires de 1905 à la théorie des chaleurs spécifiques qu'il développe en 1909 et 1911, notamment dans son rapport (9) au Congrès Solvay de 1911.

En 1909, Einstein applique les lois de la mécanique statistique aux fluctuations de l'énergie du rayonnement noir dans une enceinte fermée parfaitement réfléchissante et arrive à la conclusion que la valeur moyenne du carré de la fluctuation d'énergie du rayonnement réparti suivant la loi de Planck est la somme de deux termes que l'on obtiendrait, l'un par la théorie ondulatoire classique du rayonnement, l'autre par la représentation du rayonnement constitué par des corpuscules d'énergie $h\nu$ et de quantité de mouvement $h\nu/C$ dans la direction de leur propagation (h quantum de Planck, ν fréquence du rayonnement).

---

(6) Ist die Tragheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig ? Ann. d. Phys., sér. 4, 19, p. 289-306. Traduit dans « Sur l'électrodynamique des corps en mouvement », Paris, 1925.

(7) Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen Jahrbuch der Radioaktivität, t. 4, p. 411-462 (1907).

(8) Planckscbe Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme. Ann. d. Phys., sér. 4, t. 22, p. 180-190 et 800.

(9) Rapport et discussion de la Réunion Solvay de 1911 : « La théorie du rayonnement et les quanta » (Paris, 1922). Rapport par A. Einstein : « L'état actuel du problème des chaleurs spécifiques. »

A la suite de nombreuses études sur les phénomènes électromagnétiques et sur la gravitation, Einstein montre en 1911 que la lumière provenant des étoiles doit être déviée en passant au voisinage du disque solaire et il affirme l'équivalence de la masse d'inertie et de la masse gravitationnelle préparant la grande synthèse de la relativité générale qu'il donnera en 1915 et 1916. De 1913 à 1916, Einstein précise peu à peu la théorie relativiste des forces de gravitation et en 1916 publie le mémoire fondamental (10) qui énonce les principes de la théorie de la relativité généralisée. Par une extension du principe de relativité restreinte, en introduisant le principe de l'équivalence des sytèmes de référence dans la description des lois générales de la nature et en développant les conséquences de ce principe, Einstein déduit l'existence du champ gravifique du caractère géométrique de l'espace-temps. En présence des masses, l'espace-temps cesse d'être euclidien et ses déformations, sa « courbure » déterminent les trajectoires que nous attribuons à l'effet du « champ de gravitation ». S'appuyant sur la théorie géométrique des espaces de Riemann, la théorie de la relativité généralisée peut être développée et certaines de ses conséquences calculées complètement. Plusieurs de celles-ci ont donné lieu à des vérifications d'ordre astronomique. Ce sont notamment la rotation du périhélie de Mercure, la déviation de la lumière venant d'une étoile éloignée et passant au voisinage du soleil, une variation de la fréquence des raies spectrales émises dans un champ gravifique intense. La rotation du périhélie de Mercure, prévue par les théories de la mécanique céleste classique, présente un désaccord avec les observations. La théorie de la relativité semble apporter les corrections nécessaires, mais néanmoins il s'agit d'un effet résiduel et la vérification est assez incertaine. Les expéditions faites au début de 1919 pour vérifier la déviation de la lumière venant d'étoiles lointaines par le disque solaire ont montré l'existence de l'effet mais sans que l'on puisse affirmer avec certitude l'accord entre les valeurs observées et les valeurs calculées. La déviation vers le rouge des raies spectrales émises par les atomes soumis à l'action de champs gravifiques intenses, appelée effet Einstein, très important dans les étoiles du type naines blanches (étoiles à très fortes densités) a été observé notamment dans le spectre du Compagnon de Sirius par W.-S. Adams en 1925.

En 1917, Einstein publie un exposé de ses théories à l'usage du grand public sous le titre : *Uber die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie gemeinverständlich* (11).

---

(10) Grundlage der allgmeinen Relativitätstheorie. Ann. d. Phys. (sér. 4), 49, p. 769-822. Traduction française par A. Solovine : « Les fondements de la théorie de la relativité générale », Paris, Hermann et Cie, 1933.

(11) Traduction française par Mlle J. Rouvière : « La théorie de la relativité restreinte et généralisée », Paris, 1921, Gauthier-Villars édit.

En 1916 et 1917, Einstein donne également une nouvelle démonstration extrêmement simple de la loi de Planck et de très importants résultats sur les lois de l'émission et de l'absorption des quanta de lumière. Il établit notamment la distinction entre émission spontanée et émission provoquée en faisant intervenir deux coefficients appelés aujourd'hui A et B d'Einstein.

Après la guerre, Einstein continua à développer les théories quantiques. En 1924, un physicien indien, S.-N. Bose, donna une nouvelle démonstration de la formule de Planck. Bose regardait le rayonnement comme formé de corpuscules de lumière (12) qui devaient être considérés du point de vue de la statistique comme les molécules d'un gaz, indiscernables les unes des autres. La découverte de Bose fut immédiatement étendue par Einstein au cas des gaz monoatomiques. La statistique qui en résulte, appliquable aux photons, aux particules alpha et aux particules complexes formées d'un nombre pair de corpuscules élémentaires est connue aujourd'hui sous le nom de statistique de Bose-Einstein.

Après la guerre, Einstein a continuellement développé d'une part les conséquences de la théorie de la relativité générale et, d'autre part, les extensions de celle-ci. Certaines de ces extensions, telles que celles de De Sitter ou de l'abbé Lemaître cherchent à obtenir par un choix convenable de la structure locale de l'espace physique une interprétation de la structure globale de l'univers. D'autres extensions connues sous le nom de théories unitaires des champs se proposent de caractériser parmi les espaces les plus généraux de la géométrie une structure locale correspondant à la nature physique de l'espace-temps réel et impliquant par nécessité à la fois les lois de l'électromagnétisme et de la gravitation.

Jusqu'à la fin de sa vie, Einstein s'est occupé de ces problèmes et ses mémoires ont continuellement apporté de nouvelles solutions de plus en plus élaborées. Parmi ceux-ci nous citerons l'appendice « Sur le problème cosmologique » à la seconde édition de son ouvrage (13) « *The Meaning of relativity* », divers mémoires sur la théorie unitaire à cinq dimensions de Kaluza, la théorie unitaire (14) développée par Einstein en collaboration avec W. Mayer en 1932, les mémoires publiés en collaboration

(12) Le therme photon utilisé actuellement a été introduit en 1926 par G.-N. Lewis.

(13) Traduction française par M. Solovine : « Quatre conférences sur la théorie de la relativité faites à l'Université de Princeton », Paris, Gauthier-Villars, 1925. « Sur le problème cosmologique. Théorie de la gravitation généralisée », Paris, 1951. Appendices I et II de la troisième édition de « The Meaning of Relativity ».

(14) Einheitliche Theorie von Gravitation und Elektrizitat, Sitzungberichte Preussische Akad., Berlin, 1931, p. 541-557, 1932, p. 130-137.

avec W. Pauli en 1943, avec E.-G. Strauss en 1945-1946, avec L. Infeld en 1949, avec P. Bergmann et V. Bargmann. Ce n'est qu'à partir de 1948 qu'Einstein est arrivé à obtenir une théorie unitaire satisfaisante (15). Cette nouvelle théorie a suscité depuis son introduction un nombre considérable de travaux mathématiques qui ont permis d'en préciser les possibilités. Il est vraisemblable que, dans un avenir assez proche, il sera possible d'évaluer par le calcul et peut-être d'étudier expérimentalement des effets manifestant l'association par la nature même de l'espace physique de l'électromagnétisme et de la gravitation.

Entre 1924 et 1928, les nouvelles formes de la théorie des quanta : mécanique ondulatoire de Louis de Broglie, mécanique quantique de Heisenberg, équations d'ondes de Schrödinger et de Dirac firent leur apparition. Dès 1925, Einstein publia notamment une déduction des formules de Louis de Broglie sur la relation entre vitesse de phase et fréquence à partir de la relativité restreinte et chercha à rapprocher la théorie unitaire des champs et la mécanique ondulatoire. Plus tard, Einstein donna également une très importante étude sur l'expression des fonctions d'ondes de Dirac par les spineurs de Van der Waerden et leurs transformations par le groupe de Lorentz.

En 1927, à la suite des travaux de Born et de Jordan, Heisenberg développa les conséquences du nouveau formalisme quantique et notamment des « relations d'incertitude ». Celles-ci expriment l'existence d'une limite « naturelle » dans la possibilité de mesures simultanées de grandeurs physiques canoniquement conjuguées telles que la position ou la quantité de mouvement d'un corpuscule. En septembre 1927, au Congrès international de physique de Come, Niels Bohr proposa le terme de complémentarité pour désigner cet aspect particulier des phénomènes du domaine quantique et à la suite des discussions ultérieures, N. Bohr (16) affirma « l'impossibilité d'une séparation nette entre le comportement des objets atomiques et l'interaction avec les instruments de mesures qui servent à définir les conditions dans lesquelles le phénomène apparaît ».

En octobre 1927, à la cinquième réunion de l'Institut Solvay (17), Einstein discuta le point de vue de Bohr en examinant

---

(15) A. Einstein et B. Kaufman : « Sur l'état actuel de la théorie générale de la gravitation » dans « Louis de Broglie, physicien et penseur ». Albin Michel, 1952 ; « The Meaning of relativity », appendice II à la quatrième édition, Princeton, 1953.

(16) Sur la controverse entre Einstein et Bohr, voir notamment l'article de N. Bohr : « Discussion with Einstein », dans « A. Einstein, Philosopher-Scientist ». édité par P.-A. Schilpp, 1949, The library of living philosopher, Evanston (Ill.), et la réponse d'Einstein, p. 665-688 dans le même ouvrage.

(17) Rapports et discussion du cinquième congrès. Institut international de Physique Solvay, Paris, Gauthier-Villars, 1928.

notamment l'expérience idéale de la diffraction de l'onde associée au mouvement d'un corpuscule, électron ou photon, traversant une fine ouverture dans un diaphragme placé devant une plaque photographique. Les objections d'Einstein donnèrent lieu à d'ardentes discussions qui se prolongèrent à la réunion de la Conférence Solvay de 1930.

Einstein reprit ses arguments en les complétant dans un article écrit en collaboration avec B. Podolsky et N. Rosen (18). Einstein arrive à la conclusion que la mécanique quantique « ne fournit pas une description complète de la réalité physique ». Dans une lettre à Max Born (7 novembre 1944), Einstein écrit notamment : « In our scientific expectation we have grown antipodes. You believe in God playing dice and I in perfect laws in the world of things existing as real objects which I try to grasp in a wildly speculative way. » Dans le numéro spécial de *Dialectica* (t. 2, 1948), consacré à la complémentarité, Einstein maintint ses conclusions sur le caractère incomplet de la description quantique du monde physique.

Les conclusions d'Einstein furent vivement attaquées par N. Bohr (16). Einstein répondit à ces critiques et sur de nouveaux exemples montra que la mécanique quantique ne peut fournir que la description d'ensembles d'objets et ne peut pas donner une description complète du corpuscule individuel.

Ces dernières années, Louis de Broglie reprenant une première forme de la mécanique ondulatoire qu'il avait proposée en 1927 avant de se rallier à l'interprétation probabiliste de Born, a développé une théorie plus complexe dite de la double solution. Cette théorie permet de retrouver pour le corpuscule individuel les notions de localisation et de trajectoire classiques tout en conservant les résultats statistiques apportés par la mécanique ondulatoire orthodoxe. Elle est sur bien des points en accord avec les idées d'Einstein qui finiront peut-être par triompher.

Le développement de la théorie de la relativité a donné lieu à de très nombreuses discussions philosophiques. La nature des notions d'espace et de temps, leur relation avec les concepts de substance et de réalité forment maintenant les bases mêmes de la physique. Sur tous ces problèmes, les écrits d'Einstein, toujours clairs et précis, ont apporté une contribution exceptionnelle.

A. Einstein a exposé ses idées dans de très nombreux ouvrages, dans des articles, allocutions ou interviews à la presse. Parmi ses ouvrages traduits en français nous citerons notamment : « L'éther et la théorie de la relativité. La géométrie

(18) « Can quantum mechanical description of physical reality be considered as complete ? », Phys. Rev., t. 47, p .777-780 (1935).

et l'expérience » (19), « La théorie de la relativité restreinte et généralisée » (11), « Quatre conférences sur la théorie de la relativité faites à l'Université de Princeton » (13), « La théorie de la relativité restreinte et générale. Exposé élémentaire. La relativité et le problème de l'espace » (20), « Les fondements de la théorie de la relativité générale. Théorie unitaire de la gravitation et de l'électricité. Sur la structure cosmologique de l'espace » (21), « Sur le problème cosmologique. Théorie de la gravitation généralisée » (13), « Comment je vois le monde » (22), « Conceptions scientifiques, morales et sociales » (23).

Nous espérons avoir montré dans ces quelques pages l'importance de l'œuvre d'Albert Einstein dans l'essor de la physique qui a marqué ces cinquante dernières années. Après son départ, on ne peut que se poser la question : où trouvera-t-on le savant juste et libre capable de lui succéder pour guider les sciences, les gouvernements et les hommes ?

G. Petiau.

Nos lecteurs désirant des vues intuitives sur la théorie fondée en 1905 par Einstein, les trouveront dans l'ouvrage de M. Jean Abelé : *Vitesse et univers relativiste* (Coll. « Esprit et Méthode », S.E.D.E.S., éditeur).

(19) Troisième édit., Paris, Gauthier-Villars, 1953.
(20) Paris, Gauthier-Villars, 1954.
(21) Paris, Hermann, 1933.
(22) Flammarion édit.
(23) Flammarion, 1952.

Nous inaugurons les sujets spéciaux de notre rubrique « Enseignement » *par une étude de M. Maurice Cotte, professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers, dont l'œuvre rassemble tant d'applications efficaces des mathématiques à la Physique.*

La Direction.

ÉTUDE CRITIQUE DE LA NOTION DE VITESSE DE GROUPE [1]

par M. Cotte

Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers

RÉSUME

Les notions de vitesse de groupe et de durée de trajet de groupe ont été introduites par Lord Rayleigh pour un paquet d'ondes se propageant dans un milieu dispersif. Le paquet d'ondes est un signal dont les composantes spectrales occupent une étroite bande de fréquence.

M. Cotte montre que, lorsque les composantes spectrales du signal occupent une large bande de fréquence, la considération de la distorsion de la vitesse de groupe ne permet pas de juger la déformation du signal introduite par la propagation. Une mesure naturelle de cette déformation ou distorsion est l'intégrale dans le temps du carré de l'écart entre le signal émis et le signal reçu ; la comparaison doit être faite une fois que le signal reçu a été ramené par une amplification uniforme au niveau du signal émis, et convenablement décalé dans le temps. Le décalage dans le temps qui rend la distorsion minimum représente la durée de propagation du signal, alors même que la durée de trajet de groupe est mal définie.

1. *Notion de vitesse de groupe.*

La notion de vitesse de groupe est une notion déjà ancienne, introduite par Lord Rayleigh (1) à propos de la propagation d'un signal dans un milieu dispersif. Une application classique est la propagation de rides à la surface de l'eau, mais la notion est très générale ; on la retrouve par exemple en téléphonie, en optique et en mécanique ondulatoire. Rappelons comment elle s'introduit.

---

(1) Communication présentée au Congrès de l'A.F.A.S. à Poitiers le 19 juillet 1954

Le signal est une fonction donnée du temps $y\ (t)$, que l'on peut représenter par son développement de Fourier :

$$y\ (t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega)\ \exp\ (i\omega t)\ d\omega \qquad (1)$$

avec :

$$F\ (\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \exp\ (-\ i\omega\ t)\ y\ (t)\ dt \qquad (2)$$

Si $|F\ (\omega)|$ a un maximum accusé pour $\omega = \omega_0$ et tombe à des valeurs extrêmement petites quand ω s'écarte de ω_0, on a affaire à ce que l'on appelle *un paquet d'ondes*, et l'on peut écrire :

$$y\ (t) = \frac{1}{2\pi} \exp\ (i\omega_0 t)\ A\ (t) \qquad (3)$$

avec :

$$A\ (t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega)\ \exp\ [i\ (\omega-\omega_0)t]\ d\omega \qquad (4)$$

A (t) est alors une fonction du temps qui varie beaucoup moins vite que $e^{i\omega_0 t}$ de sorte que l'on peut représenter le signal comme une onde de fréquence : $f_0 = (\omega_0 / 2\pi)$ dont l'amplitude est lentement variable.

Si $y(t)$ est réel, A (t) est complexe, et il est commode de considérer son module M (t) et son argument Φ (t). On peut alors écrire :

$$2\pi\ y\ (t) = M\ (t)\ \cos\ [\omega_0 t + \Phi\ (t)] \qquad (5)$$

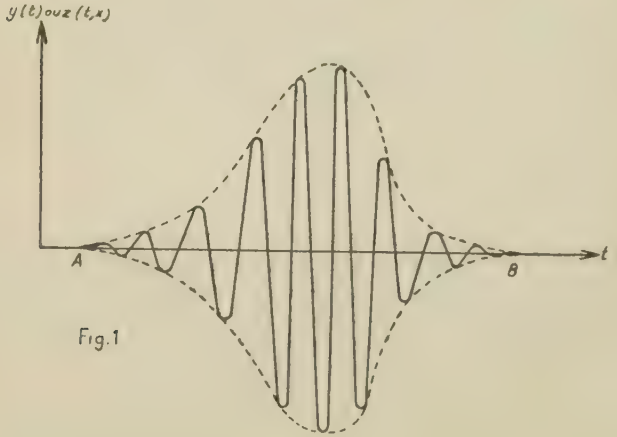

Fig. 1

ce qui permet de regarder $y\ (t)$ comme une onde de fréquence f_0 (onde porteuse) modulée en amplitude par $M(t)$ et en phase par $\Phi(t)$. La fonction $A\ (t)$ sera la modulation.

Les oscillations rapides de la courbe $y\ (t)$ seront limitées, enveloppées pour ainsi dire, par les deux courbes à variation lente $\pm\ M\ (t)$ (Fig. 1).

Etudions la propagation du signal $y\ (t)$ dans un milieu homogène dispersif. Ce milieu sera caractérisé par une constante de propagation $k(\omega)$ telle qu'après la traversée d'une épaisseur x, une onde $e^{i\omega t}$ devienne $e^{i(\omega t - kx)}$.

Dans ces conditions, si le signal $y(t)$ est appliqué à l'entrée du milieu, on trouvera après la traversée de l'épaisseur x le signal $y\ (t, x)$ tel que :

$$2\pi\ z(t,\ x) = \int_{-\infty}^{+\infty} F\ (\omega)\ \exp\ [i(\omega t - kx)]\ d\omega \qquad (6)$$

Supposons que la pulsation ω_0 tombe dans une région de transparence du milieu, c'est-à-dire que k soit réel, et puisse, pour des pulsations voisines de ω_0 être bien représenté par le développement :

$$k = k\ (\omega_0) + (\omega - \omega_0)\ (dk/d\omega)_0 + \tfrac{1}{2}\ (\omega - \omega_0)^2\ (d^2k/d\omega^2)_0 + \ldots \qquad (7)$$

Dans l'hypothèse du paquet d'ondes, $F(\omega)$ est négligeable si ω diffère notablement de ω_0 ; il est donc *parfois* légitime de négliger dans le développement (7) les termes autres que les deux premiers. Posons :

$$k_0 = k\ (\omega_0) \qquad \frac{1}{w} = \left(\frac{dk}{d\omega}\right)_0 \qquad (8)$$

Nous aurons alors :

$$i\ (\omega t - kx) = i\ (\omega_0 t - k_0 x) + i\ (\omega - \omega_0)\ (t - x/w)$$

et :

$$2\pi\ z\ (t,x) = \exp\ [i(\omega_0 t - k_0 x)]\ \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega)\ \exp\ [i\ (\omega - \omega_0)\ (t - x/w)]\ d\omega$$

c'est-à-dire :

$$2\pi\ z\ (t,x) = \exp\ [i(\omega_0 t - k_0 x)]\ A\ (t - x/w) \qquad (9)$$

Nous reconnaissons dans (9) la porteuse transportée avec *la vitesse de phase* $v = \omega_0/k_0$ et la modulation transportée avec la vitesse de groupe $w = (d\omega/dk)_0$.

Dans un milieu dispersif, v diffère de w, et les oscillations de $z(t,x)$, quand t varie, se déplaceront à l'intérieur de leur enveloppe avec la vitesse relative v-w. Elles paraîtront si $v > w$, naître à l'extrémité A de l'enveloppe et s'évanouir en B (fig. 1). Si on tient non seulement à la modulation (forme de la courbe enveloppe), mais encore à une reproduction exacte de $y(t)$, on ne peut pas dire que $z(t,x)$ reproduise parfaitement $y(t)$, en raison du déplacement relatif des oscillations de $z(t,x)$ à l'intérieur de leur enveloppe. Donc, même lorsque la théorie

précédente est applicable, la reproduction du signal n'est pas parfaite.

D'autre part, il ne faut pas perdre de vue que les résultats précédents ont été établis sous deux hypothèses assez restrictives.

1° k est réel ;

2° On peut limiter le développement (7) aux deux premiers termes, c'est-à-dire x est assez petit pour que l'on ait :

$$x\ (\omega - \omega_0)^2\ (d^2k/d\omega^2)_0 \ll 2\pi$$

dans tout l'intervalle de fréquence pour lequel $|F(\omega)|$ est sensiblement différent de zéro.

Il semble donc que si la seconde condition n'est pas vérifiée, on ne pourra plus reçonnaître le signal, ni même la modulation. Comme nous le verrons, cette conclusion n'est pas toujours exacte.

2. *Durée de trajet de groupe et distorsion de la durée de trajet de groupe.*

Nous pouvons remarquer que dans le calcul de $z(t,x)$, les variables k et x n'interviennent pas séparément, mais seulement par le produit :

$$\Gamma = ikx = \varphi_1 + i\varphi_2 \qquad (10)$$

Dire que k est réel, c'est-à-dire que φ_1 est nul.

La quantité :

$$\varphi_2(\omega_0) = xk_0 = \omega_0 x/v \qquad (11)$$

représente la rotation de phase introduite dans l'onde $e^{i\omega_0 t}$ par la propagation sur la longueur x.

Quant à $(d\varphi_2/d\omega)_0 = (x/u)$, il représente le temps τ mis par la modulation pour se propager sur la longueur x. On l'appelle durée de trajet de groupe ; la vitesse de groupe n'est autre que le quotient x/τ.

L'avantage de substituer $\Gamma(\omega)$ à $z\ k(\omega)$ est que la donnée de $\Gamma(\omega)$ permet de représenter l'effet sur l'onde $y(t)$ d'une portion de ligne homogène ou inhomogène, ou d'un appareil de transmission quelconque. La seule chose à supposer est que le système de transmission est linéaire, c'est-à-dire que si on reçoit un signal $z_1(t)$ quand on applique le signal $y_1(t)$ à l'entrée, et si on reçoit $z_2(t)$ quand on applique $y_2(t)$ à l'entrée, on recevrait $z(t) = z_1(t) + z_2(t)$ si on appliquait le signal $y_1(t) + y_2(t)$ à l'entrée.

Aussi, au lieu de considérer la vitesse de groupe, nous considérerons plutôt la durée de trajet de groupe.

Étudions maintenant la distorsion introduite par un $\Gamma(\omega)$ quelconque. Il se trouve en effet que dans certains cas $\Gamma(\omega)$ varie avec la fréquence de façon quelconque. Un exemple intéressant est dans la transmission sur câble de la télévision, la longueur de câble considérée constituant une section d'amplification. Les inévitables irrégularités de fabrication ont pour effet que $\varphi_1(\omega)$ et $\varphi_2(\omega)$ subissent des oscillations de faible amplitude, mais assez capricieuses autour d'une loi de croissance régu-

lière (fig. 2). Par des réseaux correcteurs relativement simples, on peut obtenir que pour l'ensemble câble et réseaux, $\varphi_1(\omega)$ soit à peu près constant, et $\varphi_2(\omega)$ soit une fonction linéaire de ω. Mais la correction porte sur l'allure générale de la courbe et laisse subsister les indentations.

Or justement dans une transmission de télévision, l'intervalle (f_1, f_2) des fréquences à transmettre est très grand et le maximum de $(f_1 - f_2)^2 \left| d^2\varphi_2/d\omega^2 \right|$ sera très grand devant 2π.

Fig.2

Comme de tels câbles sont cependant utilisables, on a proposé un autre critère. Pour toute fréquence de l'intervalle f_1, f_2, on peut en effet définir une durée de trajet de groupe $\tau = (d\varphi_2/d\omega)$, et toutes ces durées sont comprises entre une borne inférieure τ_{min} et une borne supérieure τ_{max}. On a proposé que l'écart $\tau_{max} - \tau_{min}$ qui mesure la distorsion de la durée de trajet de groupe soit assujetti à être inférieur à la durée θ de l'émission d'un point de l'image télévisée. Cette condition, beaucoup moins sévère que la précédente a l'air raisonnable. Cependant, elle ne fait pas intervenir φ_1 et conduit à un paradoxe.

Imaginons une ligne formée de trois portions dont chacune est parfaitement homogène et sans distorsion ; la partie moyenne a une longueur l courte devant la longueur totale L de la ligne, et une impédance caractéristique un peu différente de celle des portions terminales. L'émetteur et le récepteur sont supposés adaptés à l'impédance caractéristique des portions terminales. Représentons par E le signal émis, par E' le signal reçu, par k la constante de propagation, pratiquement la même sur les trois tronçons, par r_1 et r_2 les coefficients de réflexion à l'entrée et à la sortie du tronçon moyen, par v la vitesse de phase. Nous avons en régime permanent :

$$E' = E \exp(-ikL)\ 1 - r_1 r_2 \exp[(-2ikl)] \qquad (13)$$

Posons :

$$\begin{cases} r_1 r_2 = a \\ ik = \beta + i\omega/v \\ t_1 = 2l/v \end{cases} \qquad (13)$$

Supposons β petit, indépendant de la fréquence, et confondons $\exp(-2\beta l)$ avec l'unité. Il vient :

$$E' = E \exp(-2\beta L) \exp(i\omega L/v) [1 - a \exp(-2\, i\omega l/v)] \quad (14)$$

Cette formule montre que, l'amplitude E étant constante, :

1° l'amplitude de E' subit en fonction de la fréquence des variations relatives atteignant $\pm a$ nepers ;

2° la courbe donnant l'amplitude de E' en fonction de la fréquence est périodique, de période $1/t_1$.

3° par rapport au signal reçu au bout d'une ligne sans distorsion, E' présente le déphasage :

$$\varphi = \text{arctg}\, [a \sin \omega t_1/(1 + a \cos \omega t_1)] \quad (15)$$

La courbe de φ en fonction de la fréquence a pour période $1/t_1$. Comme a est supposé petit, φ subit des variations de $\pm a$ radians autour d'une valeur moyenne nulle. La durée de trajet de groupe en fonction de la fréquence $d\varphi/d\omega$ subit des variations de même périodicité ; l'amplitude de ces variations peut atteindre $\pm at_1$.

Pour $a = 0{,}008$ et $t > 12$ µs (distance entre points de réflexion supérieure à 1.800 m). On trouve $at_1 \geqslant 0{,}1$ µs, limite supérieure à celle admise en télévision.

D'après le critère ci-dessus, une telle ligne serait mauvaise. Or l'étude de cette ligne en régime transitoire est facile. Cette ligne donne t_1 secondes après le signal utile un écho d'amplitude relative $\pm a$. Or des expériences directes montre qu'un écho d'amplitude relative $a < 0{,}008$ n'est pas visible.

De là, on a conclu à tort que seules des mesures en régime transitoire permettent de juger la qualité d'un système de transmission. En fait, tout ce que l'on peut dire est que le critérium basé sur la durée de trajet de groupe est mauvais.

3. *Mesure de la distorsion d'un signal.*

Reprenons le signal de durée finie $y(t)$ dont la décomposition spectrale est donnée par (1) (2). Si à la place de la pulsation nous introduisons la fréquence f, il vient :

$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} A(f) \exp(2\pi i f t)\, df \quad (16)$$

avec :

$$A(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(t) \exp(-2\pi i f t)\, df \quad (17)$$

La théorie des intégrales de Fourier montre que :

$$J = \int_{-\infty}^{+\infty} |y^2(t)|\, dt = \int_{-\infty}^{+\infty} |A(f)|^2\, df \quad (18)$$

De même, on pourra écrire, à la place de (6) et (10) :

$$z\,(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} A\,(f)\,\exp\,[-\,\Gamma(f)]\,\exp\,(2\pi i f t)\;\;df \tag{19}$$

Nous pouvons remarquer qu'un retard θ dû à la transmission, et un affaiblissement uniforme, qu'on peut compenser par une amplification uniforme, ne nous empêchent pas de reconnaître le signal. Si donc m et θ sont deux constantes ($m<1$), une transmission sera sans distorsion si la différence :

$$u(t) = \frac{z\,(t)}{m} - y\,(t-\theta) \tag{20}$$

entre la réponse ramenée au niveau du signal et le signal convenablement retardé est nulle. Dans le cas contraire, nous pourrons définir la distorsion par le rapport I/J, avec :

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} |\,u^2\,(t)\,|^2 \tag{21}$$

Si nous posons :

$$\begin{aligned} m &= e^{-\varphi_0} \\ \chi_1 &= \varphi_1 - \varphi_0 \\ \chi_2 &= \varphi_2 - 2\pi\theta f \end{aligned} \tag{22}$$

nous pouvons écrire, en vertu de (18) :

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} [A\,(f)]^2 \left\{[1 - \exp\,(-\chi_1)]^2 + 4\,\exp\,(-\chi_1)\,\sin^2\,\chi_2/2\right\} df \tag{23}$$

On ne peut espérer avoir $I/J \ll 1$ que si, dans presque tout le domaine de fréquences où $|A(f)|^2$ n'est pas extrêmement petit, $(1 - e^{-\chi_1})$ se trouve très petit et χ_2 voisin de $2\,n\pi$, avec n entier.

En fait, supposons χ_1 très petit et χ_2 voisin de $2n\pi$ pour toutes les fréquences des signaux à transmettre. Pour cette valeur de n, et au voisinage immédiat des valeurs de θ et de m qui rendent I minimum, nous pouvons écrire, puisque χ_1 et $\chi_2 - 2n\pi$ sont encore petits :

$$I = \int_{-\infty}^{+\infty} |A(f)|^2\,[(\varphi_1 - \varphi_0)^2 + (\varphi_2 - 2n\theta f - 2n\pi)^2]\;df \tag{24}$$

Si $y\,(t)$ est réel, on peut dans (23) et (24) simultanément doubler l'intégrale et réduire l'intervalle d'intégration à $0\,\infty$.

Nous voyons que, pour un système de transmission donné, et un spectre donné de fréquences à transmettre, I est une fonction des constantes $\varphi_0\,\theta$, et n. Comme il n'existe aucune raison de se donner

à priori ces constantes, nous les choisirons de façon à rendre I minimum. On trouve alors que l'affaiblissement moyen du signal est :

$$\varphi_0 = \frac{\int \varphi_1 |A(f)|^2 \, df}{\int |A(f)|^2 \, df} \tag{25}$$

et, que le retard dû à la propagation est :

$$\theta = \frac{1}{2\pi} \frac{\int f |A(f)|^2 (\varphi_2 - 2n\pi) \, df}{\int f^2 |A(f)|^2 \, df} \tag{26}$$

Dans (26) n est en général donné sans ambiguïté pour des signaux occupant une large bande de fréquence ; d'ailleurs la condition de minimum absolu imposée à I permet de lever toute hésitation sur la valeur de n à adopter. D'une part la petitesse de I_{min}/J permettra de juger si le signal n'est pas trop déformé par la transmission. D'autre part *la durée de propagation* θ *se trouve définie par notre calcul pour tous les signaux ayant une distribution spectrale* $|A(f)|^2$ *donnée.* .

Les formules (25) et (26) montrent que φ_0 est compris entre le maximum et le minimum de l'affaiblissement φ_1 dans la bande de fréquence considérée et que θ est compris entre τ_{max}. et τ_{min}. On peut vérifier sur l'exemple donné au paragraphe 2 que la distorsion définie par le rapport I_{min}/J peut rester faible alors que l'écart $\tau_{max} - \tau_{min}$ est assez important.

Dans le cas où on se préoccupe de la transmission non pas d'une signal, mais d'une modulation, nous avons montré autre part (4) qu'il n'est plus nécessaire de supposer n entier : en effet, la démodulation, permettant d'ajouter (ou de retrancher) une même fréquence et une même phase à toutes les composantes de Fourier de l'onde modulée, pourra faire disparaître la partie fractionnaire de n au moment de la reconstitution du signal. Il suffira dès lors d'écrire que $\partial I/\partial n$ est nul.

Dans la théorie de l'information, on considère des signaux émis de façon ininterrompue de sorte que les intégrales figurant dans (18) divergent. En supposant $y(t)$ réel, il suffit alors de remplacer J par la valeur moyenne du carré du signal :

$$\overline{y(t)^2} = \lim_{T=\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{+T} y^2(t) \, dt \tag{27}$$

I, par la valeur moyenne du carré de $u(t)$, et $|A(f)|^2$ par la densité spectrale $G(f)$ définie par :

$$G(f) = \lim_{T=\infty} \frac{|A_T(f)|^2}{T} \tag{28}$$

avec :

$$A_T(f) = \int_{-T}^{+T} y(t) \exp(-2\pi i f t) \, dt \tag{29}$$

La relation :

$$\overline{y(t)^2} = \int_0^\infty G(f)\, df \tag{30}$$

remplace (18), et nous permet de reprendre les calculs précédents et d'en garder les conclusions.

Nous devons enfin répondre à l'objection que la limitation de $\int u^2(t)\, dt$ de $\overline{u^2(t)}$ n'entraine pas une limitation de u ; on peut en effet imaginer que u est presque nul la plupart du temps et prend des valeurs très importantes pendant des intervalles de temps très courts. Mais, il est à peu près évident que les signaux $y(t)$ correspondant ne seront que l'exception parmi les signaux ayant une répartition spectrale donnée. Si par exemple les valeurs instantanées de $y(t)$ obéissent à une loi de probabilité normale autour de la valeur moyenne $y(t) = o$, la probabilité pour que $|u(t)|$ dépasse $5\sqrt{u^2}$ est inférieure à 7×10^{-7}.

4. *Conclusion.*

Ainsi, lorsque les conditions très strictes relatives aux paquets d'ondes ne sont pas remplies, la transmission d'un signal peut rester assez bonne pour que le signal reste reconnaissable. On voit que pour juger de la qualité d'une transmission il vaut mieux s'intéresser à φ_1 et à φ_2 qu'à la durée de trajet de groupe $d\varphi_2/d\omega$. Nous montrons en annexe que le critère basé sur le minimum du rapport I/J et le critère basé sur la distorsion de la durée de trajet de groupe peuvent être mis en accord si on étudie la transmission d'une modulation occupant une bande de fréquence assez étroite pour que φ_1 y soit sensiblement constant et que φ_2 y varie selon une loi sensiblement parabolique. En dehors de ce cas, c'est au premier critère qu'il faut donner la préférence.

ANNEXE

Signification de la distorsion de la durée de trajet dans le cas d'une bande de modulation étroite.

Nous justifions ici un résultat déjà énoncé [4] [5].

Supposons que l'on transmette une bande latérale de modulation assez étroite pour que l'on puisse admettre que l'affaiblissement y est constant et que la phase y varie en fonction de la fréquence selon une loi parabolique. Si les frontières de la bande sont f_1 et f_2, nous poserons :

$$f_0 = (f_1 + f_2)/2\,;\ \Delta f = f_2 - f_1 \tag{31}$$

et nous aurons :

$$\varphi_1 = \varphi_0 = \text{const.} \tag{32}$$

$$\varphi_2 = a + b\,(f - f_0) + c\,(f - f_0)^2 \tag{33}$$

La durée de trajet d'un groupe d'onde de fréquence voisine de f est

$$d\varphi_2/d\omega = (1/2\pi)\,(d\varphi_2/df) = (1/2\pi)\,[b + 2c\,(f - f_0)] \tag{34}$$

La distorsion de la durée de trajet, qui est la borne supérieure de l'écart entre les valeurs de la durée de trajet de groupe pour deux pulsations différentes de la bande passante est :

$$\Delta(d\varphi_2/d\omega) = (c/\pi)\,\Delta f \tag{35}$$

La durée τ d'un signal élémentaire que peut transmettre la bande de modulation considérée est de l'ordre de $1/\Delta f$. Ecrire que la distorsion de la durée de trajet ne doit pas dépasser une fraction m de la durée d'un signal élémentaire, c'est poser la condition :

$$\Delta(d\varphi_2/d\omega) \leqslant m/\Delta f$$

ou :

$$c\,(\Delta f)^2 \leqslant m\pi \tag{36}$$

On prendra m d'autant plus petit que l'on sera plus exigeant sur la qualité de la transmission.

D'autre part, si nous supposons la bande de fréquence $f_1 f_2$ utilisée de façon à transmettre le maximum d'information nous devons supposer $G(f)$ ou $|A(f)|^2$ constant dans la bande ; ils sont par hypothèse nuls en dehors de la bande. Il est dès lors facile de calculer I et d'écrire que $\partial I/\partial n$ et $\partial I/\partial\theta$ sont nuls. On trouve :

$$\theta = b/2\pi \tag{37}$$

$$I_{min}/J = c^2(\Delta f)^4/180. \tag{38}$$

L'équation (37) montre que le retard θ introduit par la transmission est égal à la durée de trajet de groupe pour la fréquence moyenne de la bande.

Si nous exigeons que $\sqrt{I/J}\ \sqrt{\overline{u^2}}/\sqrt{\overline{y^2}}$ soit inférieur à ε_1 pour que la transmisslon soit bonne, il vient :

$$c\,(\Delta f)^2 < 13{,}4\ \varepsilon_1$$

Les relations (36) et (38) sont équivalentes si on prend :

$$\varepsilon_1 = 0{,}23\ m.$$

M. Cotte.

BIBLIOGRAPHIE

1) Rayleigh. — *Theory of sound* (art. 191 et Appendix).

(2) M. Cotte. — *C. R. Acad. Sc.*, 1949, 228, 1693.

(3) M. Cotte. — *C. R. Acad. Sc.*, 1950, 231, 117.

(4) M. Cotte. — *Relationship between the distortion and the characteristics of a transmission system, and its application to television* (Symposium on Applications of Communication Theory, Londres 1952, Butterworth Scientific Press, édit.

(5) M. Cotte. — *Journal de Physique et le Radium*, 1953, 14, p. 8-9 S.

LES LIVRES REÇUS (suite)

GAMOW (G.). — Un, deux, trois... l'infini (Dunod, Paris).

GOUDET (G.). — Electronique industrielle (Eyrolles, Paris), 5.500 francs relié.

GUINOCHET (M.). — Logique et dynamique du peuplement végétal (Coll. Evolution des Sciences, Masson, Paris), 880 francs.

HAAG (Jules). — Les mouvements vibratoires (Coll. Euclide, Presses Universitaires, Paris), 1.600 francs.

HIRTH (L.) et **STOLKOWSKI (J.)** — Biologie cellulaire (Col. Euclide, Presses Universitaires, Paris), 2.000 francs.

HOGBEN (Lancelot). — Chance and Choice by cardpack and chessboard (Max Parish & C°, Londres), 70/—.

JUDD (Neil M.). — The material culture of Pueblo Borrito (Smithsonian Institution, Washington).

MAJOR (Harold) et **VINSNES (Thore S.).** — Cambrian and Ordocician Fossils from Sorkappland (Norsk Polarinstitutt, Oslo).

MERCIER (André). — Principes de la mécanique analytique (Gauthier-Villars, Paris), 2.000 francs.

PLATRIER (C.). — Mécanique rationnelle II (Dunod, Paris), 3.900 francs relié.

QUEYSANNE (Michel) et **DELACHET (André).** — L'algèbre moderne (Coll. Que sais-je? Presses Universitaires, Paris).

SALLES (F.). — Initiation au calcul opérationnel et à ses applications techniques (Dunod, Paris).

SCHMIDT (W.) et **BAIER (E.).** — Lehrbuch der Mineralogie (Verlang Birkhauser, Bale).

TATON (R.). — Causalités et accidents de la découverte scientifique (Coll. Evolution des Sciences, Masson, Paris), 980 francs.

Second Colloque sur les équations partielles, Bruxelles, 24-26 mai 1954. Thone, Liège, et Masson, Paris), 1.500 francs.

LES LIVRES

ALIMEN (Mlle H.). — Préhistoire de l'Afrique. — Un vol. in-16 jésus, 580 pages, 155 figures, 5 tableaux, 28 planches hors-texte dont 3 en couleurs. Paris, 1955 (Editions N. Boubée et Cie). Prix : 3.000 francs.

En 1951 (Rev. gén. des Sc., t. 58, p. 51), nous avons rendu compte ici de la parution du tome I de l'**Atlas de Préhistoire** de Mlle H. Alimen. C'était une copieuse introduction à la préhistoire, qui dépassait déjà le cadre habituel des atlas de la collection.

Le tome II, qui vient de paraître, est entièrement consacré à la préhistoire de l'Afrique et nous confirme que nous sommes bien en présence d'un véritable traité.

Géologue et préhistorienne, connaissant personnellement l'Afrique, Mlle H. Alimen a intégré toute la préhistoire africaine dans son cadre naturel, géologique, et elle a accordé une importance capitale aux problèmes chronologiques, longtemps discutés.

Tandis que la préhistoire eurasiatique se déroule au cours d'une série de périodes glaciaires et interglaciaires, la préhistoire africaine connaît des périodes humides et des périodes sèches.

Cette reconstitution des périodes sèches ou humides de l'Afrique est l'œuvre commune des géologues et des préhistoriens. Elle est d'autant plus nécessaire que les industries lithiques sont souvent de formes assez différentes des industries classiques de l'Europe occidentale.

L'auteur réalise une synthèse, dense et précise, exposée régionalement, suivant un plan constant : cadre chronologique, industries. On trouve successivement : Afrique du Nord (pp. 13-99), Egypte (pp. 100-160), Sahara (pp. 162-220), Ethiopie (pp. 221-232), Afrique orientale (pp. 263-270), Afrique occidentale (pp. 271-281), bassin du Congo (pp. 282-310), Afrique du Sud (pp. 311-375), chaque chapitre étant suivi d'une bibliographie.

Les derniers chapitres du livre sont consacrés aux hommes préhistoriques de l'Afrique (pp. 376-415), à l'Art africain (pp. 416-468), aux Mégalithes (pp. 469-478).

L'ouvrage se termine par un chapitre de conclusions, très riche, où l'auteur propose des tableaux de corrélation, à l'intérieur de l'Afrique d'abord, puis avec l'Europe ensuite ; une géographie préhistorique africaine très remarquable, très nouvelle et d'une grande clarté, comme tout l'exposé d'ailleurs.

La présentation et la richesse de l'illustration sont au-dessus de tout éloge et contribuent à l'agrément de la lecture de ce bel ouvrage.

R. FURON.

Ad. DAVY DE VIRVILLE. — Histoire de la Botanique en France, préface de R. Heim. Un vol. (16 × 24) de 394 pages, 100 portraits, 60 fig., 16 planches. E.E.D.E.S., 5, place de la Sorbonne, Paris, 1954 (2.000 francs).

Ce volume fut réalisé à l'occasion du VIII[e] Congrès international de Botanique qui se tenait à Paris du 2 au 14 juillet 1954, sous la présidence

du professeur R. Heim. L'animateur et le principal rédacteur de cette Histoire de la Botanique est Ad. Davy de Virville ; mais il fut aidé par une série de botanistes spécialisés dans l'étude des disciplines dont ils furent chargés de rédiger l'histoire.

L'Histoire de la Botanique a été plutôt négligée en France ; cependant, il suffit de rappeler les noms de Tournefort, des de Jussieu, de Lamarck, de Candolle, pour montrer le rôle de la France dans le développement de la botanique. Au XVI^e^, au XVII^e^ et même au XVIII^e^ siècles, le centre des recherches botaniques en France se trouvait à Montpellier ; son célèbre jardin botanique créé par Richer de Belleval (1593) avait une réputation mondiale. Le Jardin du Roy, le futur Jardin des Plantes, ne fut créé par Guy La Brosse qu'en 1626. Au XVIII^e^ siècle, Lyon et Toulouse devinrent des centres botaniques actifs ; en revanche, la création d'une chaire de botanique à la Faculté des sciences de Paris date de 1811 (premier titulaire Desfontaines).

L'ouvrage est divisé en deux parties : la première envisage la botanique depuis le Moyen Age jusqu'au XVIII^e^ siècle inclus ; c'est la période de la description et de la classification ; la seconde partie comprend la botanique depuis le XIX^e^ siècle jusqu'à nos jours ; les botanistes se sont spécialisés et les études beaucoup plus approfondies intéressent la constitution, la physiologie, la distribution géographique, l'origine, l'évolution, la pathologie. Au travail individuel a succédé le travail en équipes. Ne figurent que les noms et les travaux des botanistes disparus.

Un index alphabétique des noms cités permet une utilisation rapide du volume qui apporte des renseignements précieux sur la vie et l'œuvre des botanistes. Des reproductions d'illustrations anciennes ajoutent encore à l'intérêt du volume.

Malgré quelques incorrections imputables au manque de temps nécessaire pour une rédaction impeccable, cette Histoire de la Botanique constitue un document important pour l'Histoire des Sciences.

A. TETRY.

M. DERIBERE. — Les applications pratiques de la luminescence. 3^e^ édit. 1955, un vol., 396 pages, 153 fig., rel. toile. Dunod édit. Prix : 3.300 francs.

Dans cette nouvelle édition rendue nécessaire par l'extension de techniques nouvelles en plein développement, le livre de M. Déribéré rassemble et présente les applications incalculables de l'analyse par fluorescence.

Après une étude rapide des différentes lampes génératrices de rayons ultra-violets provoquant la luminescence, l'auteur passe en revue, successivement, le comportement respectif des différentes substances minérales naturelles ou préparées, des substances organiques et pharmaceutiques, sous la lumière de Wood (intensité, couleur ou absence de luminescence).

Ensuite, un chapitre fort documenté montre les multiples applications de la luminescence en physiologie et biologie : microscope à fluorescence, analyse par méthode fluoroscopique, dépistage des maladies par examen sous la lumière de Wood.

On conçoit facilement tous les avantages que comporte cette méthode d'analyse pour l'industrie : identification des produits chimiques, examen des aliments et dépistage des falsifications. Des tableaux clairs et complets indiquant la fluorescence des différentes substances (aliments, huiles, carburants, cires, résines, gommes, pigments, matières plastiques, caoutchouc, etc...), en permettent le contrôle.

L'auteur sait nous montrer les imperfections et les limites de ces méthodes d'analyse qui, bien que simples et pratiques et n'altérant en rien les substances examinées, ne visent pourtant pas à supplanter les méthodes classiques, mais leur apportent au contraire un complément indispensable.

« Les industries textiles et tinctoriales ont trouvé dans la lumière de Wood un auxiliaire particulièrement utile, aussi, dans ce domaine, les applications se sont fortement développées. »

Un chapitre des plus intéressants est consacré aux expertises de manuscrits, textes, timbres, ainsi que tableaux, sculptures, tapisseries, pierres précieuses, etc...

Une technique nouvelle, la « fluographie », permet le contrôle et l'état de surface des métaux en fonction de sa structure (irrégularités, fissures, criques). Appliquée à l'archéologie, elle met l'accent sur les parties dégradées des marbres et met en évidence les gravures et détails macroscopiques difficilement visibles à l'œil.

Autres applications de la luminescence : blanchiment optique des papiers et textiles par produits fluorescents dans la lumière du jour.

« Tout un domaine nouveau s'ouvre aujourd'hui aux produits luminescents, c'est celui de la décoration et de la signalisation. »

Un chapitre succint mais particulièrement intéressant analyse les caractéristiques que doivent présenter les matières devenant luminescentes sous le spot cathodique — pour les écrans de radars — les oscillographes cathodiques et pour les récepteurs de télévision.

Un dernier chapitre traite de l'éclairage par tubes fluorescents qui en raison de ses avantages s'impose comme l'éclairage de l'avenir.

Ouvrage très dense, bourré de renseignements, qui montre brillamment l'avenir immense de ces techniques nouvelles en plein épanouissement.

J. DARFEUIL.

DUGAS (René). — La Mécanique au XVII^e siècle (Des antécédents scholastiques à la pensée classique). — Un vol. in 8°, 620 pages (Bibliothèque scientifique). Paris (Dunod éd.) et Neuchâtel (Ed. du Griffon), 1954. Prix : 3.900 francs, relié.

Il y a quelques années, R. Dugas a publié une excellente **Histoire de la Mécanique** (Dunod, 1950), où il brossait un panorama d'ensemble de l'évolution de cette science, tout en insistant plus spécialement sur les développements récents. Le nouvel ouvrage que nous analysons étudie d'une manière beaucoup plus détaillée un aspect essentiel de la création de la mécanique moderne : l'apport du XVII^e siècle. Commençant par un rappel rapide de la doctrine d'Aristote et des travaux des commentateurs du Moyen-Age, R. Dugas décrit ensuite la conception du monde de Képler et les études de statique de Stevin. Puis, entrant dans le vif du sujet, il étudie les importantes contributions et l'influence de Galilée, Descartes, Pascal, Huygens, Newton et Leibniz, situant la vie et l'ensemble de l'œuvre de ces créateurs de la science moderne, avant d'approfondir leurs apports particuliers à l'élaboration de la mécanique. Cette étude très profonde est appuyée sur la citation de nombreux textes caractéristiques et l'auteur s'efforce avec succès de relier entre elles ces diverses œuvres et d'en suivre les prolongements. Après un chapitre consacré à la balistique, l'ouvrage se termine par une analyse des conflits entre cartésiens et newtoniens et du triomphe final du newtonianisme. Comme le note M. Louis de Broglie dans la belle préface qu'il écrivit pour cet ouvrage : « Ce livre unit deux qualités presque contradictoires : une minutieuse

érudition et une évocation pleine de vie de grands hommes et de grandes doctrines. Il n'intéressera pas seulement ceux qui aiment l'histoire des sciences, mais tous ceux qui s'intéressent au pénible mais magnifique cheminement de l'esprit humain à la recherche de la vérité. »

R. TATON.

V. GAERTNER. — Electrochimie pratique, traduit de l'allemand par A. Metta. Eyrolles et Gauthier-Villars éditeurs, Paris, 1955, 516 pages, 202 figures.

L'électrochimie pratique de V. Gaertner est un ouvrage consacré plus spécialement aux applications.

Les principes et les théories sont rappelés dans la première partie d'une façon sommaire mais cependant claire et précise. La seconde partie, de beaucoup la plus importante, ayant pour titre « Technologie », traite des applications de l'électrolyse, de l'électrothermie, de l'électroosmose.

Les piles et accumulateurs sont étudiés tout d'abord, puis les procédés d'électrolyse aqueuse et ignée pour la fabrication ou l'affinage de nombreux métaux, la galvanostégie, la galvanoplastie, l'électrolyse de l'eau, la fabrication de l'eau lourde.

L'électrolyse des chlorures alcalins et les procédés d'oxydation sont ensuite exposés.

Les procédés électrothermiques de fabrication, les fours à arc, à résistance, à induction, à haute fréquence sont décrits d'une façon particulièrement nette et concise.

Les procédés de distillation électrothermiques employés pour la fabrication de certains corps (sulfure de carbone, zinc, magnésium, etc...), les décharges dans les gaz utilisés pour la fabrication de l'ozone, de l'eau oxygénée, etc..., sont indiqués sommairement.

Enfin, l'application de l'électroosmose et de l'électrophorèse à l'épuration de l'eau, de certains liquides et de divers gaz sont décrites rapidement.

Ces exposés sont très clairs et particulièrement bien faits.

En résumé, livre excellent au point de vue d'une vulgarisation faite, si l'on peut dire, à un niveau assez élevé.

La traduction laisse légèrement à désirer dans toutes les descriptions d'appareils électriques.

M. PARODI.

JANET (Maurice). — Précis de Calcul matriciel et de Calcul opérationnel. In-16, VIII-222 pages (Presses Universitaires), 1.800 francs.

Comme son titre l'indique, ce livre comprend deux parties.

Le premier quart du volume est consacré à la théorie des matrices finies et à leurs applications les plus immédiates : résolution de systèmes d'équations linéaires, de systèmes d'équations différentielles linéaires à coefficients constants.

Le reste de l'ouvrage traite du calcul opérationnel : après un rappel des principes fondamentaux de l'analyse mathématique qui se trouvent rassemblés et classés dans une introduction détaillée, après une étude de certaines équations différentielles ou intégrales, et de certains problèmes aux limites de la théorie des équations aux dérivées partielles, l'auteur justifie le terme « calcul opérationnel », insiste particulièrement sur les précautions à prendre dans un tel calcul et termine par un exposé de la notion de distribution et de quelques-unes de ses applications les plus immédiates.

On saura gré à l'auteur d'avoir écrit un ouvrage très clair et très rigoureux à propos de questions théoriques dont les résultats sont de plus en plus utilisés par l'ingénieur. Le livre forme un tout qui est accessible à quiconque possède un bagage mathématique équivalent à la licence : des rappels fréquents de définitions (en particulier, des termes utilisés en algèbre moderne) et de nombreux exemples rendent agréable la lecture de ce solide exposé et le but de l'auteur nous paraît pleinement atteint, qui « a été seulement de prolonger dans deux directions les notions d'algèbre et d'analyse que possède déjà le lecteur ». Ajoutons à ce propos modeste que beaucoup de ceux qui ont déjà engagé leur culture dans ces deux voies trouveront à la lecture de ce précis, en plus de l'occasion d'un retour à la rigueur, de fertiles sujets de méditation.

Michel CAZIN.

LOHSE (Richard-P.), SCHADER (Jacques) et **ZIETRSCHMANN (Ernest). — L'Architecture internationale de demain** (éd. Charles Gay, 5, rue de Montholon, 9e).

La plus grande partie des habitations particulières construites en Europe, sont conçues et réalisées à partir de moyens et de matériaux traditionnels.

Quelques architectes ont bénéficié des avantages nécessaires (largeur de vues, idées ultra-modernes du propriétaire, et surtout crédits assez élevés) leur permettant la mise au point de logements s'inspirant des idées et techniques dites « nouvelles ». Entendons par là que la majorité de celles-ci nous était apportée de Suède, Norvège, Danemark et des pays anglo-saxons (U.S.A., Australie, Canada).

« Architecture internationale de demain », édité par Charles Gay, est d'une présentation et d'une conception parfaites. Il réunit sous un petit volume des exemples caractéristiques d'architecture moderne (pavillons particuliers et logis de vacances) réalisée dans les pays déjà cités.

Il pourra prendre utilement place dans la bibliothèque de tous les techniciens de la construction et surtout des décorateurs et des installateurs. Un exposé clair et d'intéressantes indications techniques, accompagnent la présentation des différentes constructions sélectionnées dans neuf pays.

Chacun des projets présentés est accompagné de plans, coupes et photographies qui, à elles seules, justifient l'intérêt du livre. Les vues sont en effet toutes prises sous des angles judicieux permettant de se faire une idée exacte de l'ensemble et d'apprécier des aménagements intérieurs pour lesquels la pauvreté des bourses françaises ne nous a pas habitués.

Nous pensons cependant qu'une prolifération de constructions dans les styles présentés n'est pas souhaitable chez nous. Dans des pays neufs comme l'Amérique et l'Australie, ou réalisant depuis longtemps de tels ensembles, comme la Suisse et les pays nordiques, l'œil ne risque pas d'être choqué Mais que dire de la France, pays par excellence de l'architecture provinciale ? Un trop grand nombre de ces habitations parmi nos maisons de style, risquerait de rompre une harmonie et un pittoresque déjà fortement compromis par la reconstruction.

Ayons de larges baies qui laissent entrer le soleil et la lumière. Faisons des intérieurs clairs, avec le maximum de confort où les efforts de la ménagère seront réduits au maximum, et où la famille pourra vivre et se détendre sans contrainte.

Mais essayons de bâtir dans ce style qui donne à chaque ville, à chaque province de chez nous, un cachet si particulier, un aspect si typique.

Pour terminer, disons que si certains matériaux préfabriqués et certaines techniques nouvelles sont d'un emploi économique et courant à l'étranger.

en France et en Europe en général, ils coûtent souvent plus cher que le traditionnel, d'où l'emploi de techniques qui paraissent à certains périmées.

Cependant, la grande sélection des exemples choisis et les idées nouvelles qu'il apporte, font de cet album une publication d'architecture extrêmement intéressante.

J. GUILLEMIN.

A. MONDIEZ. — Cours de Physique Industrielle, tome II. **Production et utilisation de la vapeur** (deuxième édition revue et augmentée). Un vol., 657 p., 164 fig. Gauthier-Villars éd. Prix : 4.300 francs.

Le tome I paru en 1954 traite de l'écoulement des fluides et de la transmission de la chaleur ; le tome II paru récemment traite de la **production de la chaleur** (combustibles, combustion et son contrôle, tirage des foyers, mesure des hautes températures) et des **applications de la chaleur** (chaudières et appareils annexes, épurateurs des eaux, les divers modes de chauffage central dont le chauffage thermodynamique, confort, séchage et séchoirs). Cet ouvrage, très complet, constitue un véritable traité à jour des derniers progrès, de nombreuses applications sont traitées et la « marge » entre la théorie et la pratique est analysée selon une critique serrée. La première édition était déjà couronnée par l'Académie des Sciences ; la seconde édition est préfacée par M. le professeur J. Perès.

Ces deux importants volumes permettent d'étudier les problèmes traités, mais les spécialistes y trouveront une documentation complète et avertie.

G. LAMBRAULT.

SNODGRASS (R. E.). — Insect Metamorphosis. (Métamorphoses des Insectes). **— Smithsonian miscellaneous collections.** Vol. 122, n° 9, Washington, 1er avril 1954. 124 p.

Les métamorphoses des insectes ont de tout temps éveillé la curiosité des hommes. Toutefois nos connaissances dans ce domaine se sont longtemps bornées à une constatation des changements de formes extérieures. L'analyse des processus internes des métamorphoses est relativement récente, et il n'y a guère qu'une vingtaine d'années qu'a commencé l'étude du déterminisme de ces phénomènes.

Grâce à des recherches expérimentales nombreuses, ce dernier sujet a fait de rapides progrès, qui ont amené l'édification d'une science nouvelle : l'endocrinologie des insectes. Le grand intérêt actuellement accordé aux métamorphoses des insectes se traduit notamment par la parution récente et presque simultanée de deux excellents ouvrages consacrés à la question ; l'un et l'autre sont conçus dans un esprit différent, et à certains égards se complètent.

« The Physiology of insect metamorphosis » (**Cambridge Univ. Press.**, 1954) est rédigé par V. B. Wigglesworth, auquel on doit une grande part des découvertes sur le rôle des hormones chez les insectes. Wigglesworth y traite, en phénomènes inséparables, croissance, mues et métamorphoses, qu'il considère comme un cas particulier de polymorphisme, et dont il analyse essentiellement les mécanismes hormonaux, ainsi que les processus de différenciation et de morphogénèse.

L'ouvrage de R. E. Snodgrass, beaucoup moins approfondi du point de vue proprement physiologique, traite par contre largement divers aspects morphologiques et écologiques non envisagés dans l'ouvrage précédent.

Dans son introduction, après quelques pertinentes remarques générales sur les métamorphoses des insectes, l'auteur précise très utilement les définitions de certains termes, tels que celui même de « métamorphose », ceux de « nymphes », « larves », « pupes », trop souvent employés avec des acceptions diverses. Il insiste ensuite sur l'impossibilité de classer les

insectes, comme on a tenté de le faire, suivant les caractères de leurs métamorphoses, puis résume clairement en une dizaine de pages les données acquises sur les formations endocrines et les hormones intervenant dans les mues et les métamorphoses.

L'insecte apparaît comme un être double, dont l'organisme larvaire, qui assure le développement, contient à l'état latent un autre organisme : l'organisme imaginal chargé de la reproduction. Le passage de l'un à l'autre constitue la métamorphose, qui est d'autant plus prononcée que les organismes larvaire et imaginal sont plus différents. Cette différence même qui atteint son maximum chez les insectes « holométaboles », semble résulter surtout d'adaptations à des milieux et à des genres de vie différents pour les larves et pour l'imago d'un même insecte. Dans une série de chapitres, qui constituent la partie la plus importante de son ouvrage, Snodgrass développe cette notion de divergences écologiques, source principale de divergences structurales entre les formes larvaires et la forme imaginale. Il considère d'abord divers ordres d'insectes à « métamorphoses incomplètes » (Plecoptères, Ephemeroptères, Odonates), dont les larves, généralement aquatiques, possèdent des dispositifs (branchies, organes de fixation, pinces labiales des odonates) qui leur sont propres, et disparaissent totalement chez les imagos à vie aérienne. Deux chapitres sont ensuite consacrés aux métamorphoses particulières de certains Hémiptères (Cochenilles, Aleurodes), et des Tysanoptères, qui présentent un stade pré-imaginal immobile, et plus ou moins comparable à la « pupe » des insectes holométaboles. A propos de ces derniers, Snodgrass passe en revue les diverses théories proposées pour expliquer l'origine et l'évolution de leurs larves endoptérygotes toujours très différents de l'imago correspondant. Il examine ensuite en détail les différents cas d'hypermétamorphoses, pour lesquels il propose le nom plus exact d' « hétéromorphoses larvaires ». Ces phénomènes, rencontrés chez divers insectes, parasites pendant une partie de leur développement, ont en effet en commun une succession de stades larvaires bien différents les uns des autres par leurs formes et leurs genres de vie. Les Hétéromorphes sont séparées en deux groupes, selon qu'il s'y présente un premier stade à vie libre (**planidium**), capable d'aller à la recherche de l'hôte, ou bien que ce stade est absent, la femelle déposant directement ses œufs sur ou dans le corps de l'hôte.

La pupe des insectes holométaboles, « l'une des plus remarquables choses de la nature animale, où se trouvent intimement mêlés les processus de la vie et de la mort », fait l'objet d'une étude approfondie concernant principalement les transformations subies par les différents tissus et organes. Cette pupe, souvent assimilée au dernier stade larvaire des insectes à métamorphoses incomplètes, fait en réalité partie du stade imaginal, selon Snodgrass, qui reprend dans un dernier chapitre cette idée de Poyartoff et l'appuie d'arguments nouveaux. Une importante bibliographie termine cette utile mise au point, qui se signale en outre comme tous les autres ouvrages du même auteur, par l'abondance et la clarté de l'illustration.

J. CARAYON.

R. S. SUTELIFFE. — Météorologie pour aviateurs. — Traduit, développé et mis à jour par R. Lecomte et Odon Godart. Edit. de la Revue d'Optique, 1954, 336 pages. **Prix : 3.200 francs.**

Cet ouvrage est un manuel de documentation solide dont le but est de donner aux aviateurs la formation météo nécessaire, leur permettant de profiter, au maximum, des renseignements fournis par les services météorologiques, comme de faire eux-mêmes, les observations tant au sol qu'au cours des vols, ces dernières ayant une grande valeur car elles complètent les radio-sondages toujours trop peu nombreux.

Après avoir examiné rapidement les méthodes et appareils employés par les services de météo, l'auteur en vient à une étude plus approfondie sur les phénomènes engendrant les différents types de temps.

La troisième partie du livre est consacrée à la circulation générale de l'air et au climat du monde.

Des planches nombreuses permettent de se familiariser et reconnaître les différents types de nuages. L'auteur donne des conseils pratiques sur le pilotage dans les conditions défavorables voire même dangereuses, notamment en cas de givrage, il insiste surtout sur le réglage de l'altimètre.

Ouvrage d'une très bonne tenue ne réclamant pas de connaissances mathématiques spéciales.

Un supplément contient les différents codes et signes nécessaires à l'interprétation des cartes météo ainsi que les fréquences des émetteurs diffusant les observations.

J. DARFEUIL.

TERRIEN (Jean). — L'optique astronomique. Collection Que Sais-Je ? P.U.F., 1954.

Pour pénétrer toujours plus avant dans le secret de l'Univers, les astronomes ont été amenés à construire des appareils de plus en plus puissants. C'est en quelque sorte une revue de ces instruments que nous donne J. Terrien.

Il fait une brève description des appareils, des difficultés rencontrées dans leur réalisation tant d'ordre optique que mécanique, ainsi que les moyens de contrôler leur degré de perfection.

De l'objectif de la lunette astronomique, au prisme et au réseau du spectographe en passant par la cellule photo-électrique multiplicatrice d'électrons, au télescope électronique et au coronographe ainsi qu'au filtre monochromateur, tous les appareils modernes figurent dans ce petit livre succint mais très bien informé.

J. DARFEUIL.

Jean TESCEREAU et Gérard de VAUCOULEURS. — Astrophotographie d'amateur. — Edit. de la Revue d'Optique, 35 pl., 1954, 92 pages. Prix : 800 fr.

Gérard de Vaucouleurs en collaboration avec J. Tescereau fait paraître à l'usage des amateurs ce petit livre attrayant, où ils traitent d'une manière fort claire, les problèmes qui se posent à celui qui veut faire œuvre agréable en même temps qu'utile en photo astronomique. Ils indiquent les moyens de monter des appareils qui, tout en restant simples et à la portée du bricoleur, permettent néanmoins d'obtenir des résultats intéressants. Pour les amateurs plus expérimentés, ils donnent les moyens de tirer parti au maximum d'appareils plus perfectionnés pouvant rivaliser dans une certaine mesure, avec les résultats obtenus par les professionnels. On est émerveillé devant les possibilités qui s'ouvrent à l'amateur, pourvu qu'il consente à faire quelques dépenses et qu'il veuille bien passer quelques nuits à la belle étoile.

J. DARFEUIL.

WATL DISNEY. — Désert vivant. — Un vol. in-4°, 76 pages, 120 photographies en couleurs. Genève, 1954 (Marc Barraud édit.). Prix : 3.600 francs.

Le succès de **l'Ile aux Phoques** et de **la Vallée des Castors** a montré que le film documentaire plaît au public, lorsqu'il présente un intérêt réel. Encouragé par le succès, Walt Disney a persévéré dans ce nouveau domaine en présentant un « long métrage » : **Désert vivant.** Cet extraordinaire film en couleurs a obtenu le succès que l'on sait et il ne nous en resterait que le souvenir si les Editions Marc Barraud n'avaient consacré à ce film le premier volume d'une « Collection d'Art documentaire ».

Le texte eut parfois gagné en exactitude scientifique à être écrit par des naturalistes, mais en dehors de Julian Huxley, sa rédaction a été confiée à des hommes de lettres célèbres : Marcel Aymé, Louis Bromfield, Albert Camus, François Mauriac, André Maurois et H. de Montherlant. C'est un commentaire des images, des photographies en couleurs, qui sont d'une rare perfection. Nous y retrouvons tous les épisodes sensationnels du film : la victoire du petit rat-kangourou sur le serpent à sonnettes, le monstre Gilda, le serpent fouisseur, le combat de tortues, le chat des cactus poursuivi par les pécaris et réfugié en haut d'un « cierge », la buse qui met à mort le crotale cornu par haine raciale, la danse amoureuse des scorpions, l'horrible bataille de la guêpe pepsis et de la mygale, etc., puis, pour terminer, la floraison étonnante des cactées après la pluie bienfaisante.

Les dernières pages, écrites par Julian Huxley, invitent à la réflexion. L'auteur montre ce miracle permanent de la vie dans le désert, de l'adaptation des animaux et des végétaux en vue d'une survie difficile dans des lieux hostiles où la lutte pour la vie est de tous les instants.

« Désert vivant » est un ouvrage documentaire qui trouve sa place parmi les beaux livres d'Histoire naturelle.

R. FURON.

FORMULAIRE DE LAHARPE. — Notes et formules de l'Ingénieur. Vingt-troisième édition entièrement refondue sous la direction de **Maurice Denis-Papin** et **Jacques Vallot.** Tome IV. Albin Michel éd.

Le formulaire De Laharpe est le grand formulaire de langue française et couvre la quasi totalité du domaine de l'ingénieur dans ses nombreuses branches. Le présent tome traite de l'électrotechnique appliquée (1) (transformateurs et redresseurs, piles et accumulateurs, essais des machines, stations centrales, appareillage, transport et distribution, applications électromécaniques, ioniques et électrothermiques, électrochimie, électrométallurgie, matériaux), des télécommunications, de l'électronique, de l'électroacoustique, de la radioélectricité et de la traction électrique.

G. LAMBRAULT.

---

(1) L'électrotechnique générale figure dans le tome III.

Brasserie BALZAR

(ouverte tous les jours jusqu'à 2 heures du matin)

BIÈRE HATT DE CRONENBOURG

49, rue des Ecoles — **PARIS** (5e)

Imprimerie Jacques et Demontrond, Besançon. — 5965 - 10-55.
Dépôt légal 4e trimestre 1955 : n° 5669. Le Gérant : R. CONSTANS.